

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний

(повна назва факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М. Д. Гераїмчук  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект**

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.051003 Приладобудування

на тему: «Далекомір відстані до рухомих об'єктів»

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи ПІ-51  
(шифр групи)

Вінцевич Олександра Олександрівна  
(прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник професор, д.т.н., Безвесільна О. М.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант технологічний професор, д.т.н., Антонюк В. С.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., Шевченко В. В.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Приладобудівний  
(повна назва)

Кафедра Приладобудування  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.051003 Приладобудування  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М. Д. Гераїмчук  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Вінцевич Олександра Олександрівна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Далекомір відстані до рухомих об'єктів»  
\_\_\_\_\_

керівник проекту Безвесільна Олена Миколаївна, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1384-с

2. Термін подання студентом проекту 13.06.2019 р.

3. Вихідні дані до проекту Сила  $F=1\text{кгс}=9,81\text{ н}$ ; площа пластини  $S_x=5\text{см}^2$ ;  
товщина пластини  $d=0,5\text{см}$ ; ємність п'єзоелектричного перетворювача  
 $C = 3,1 \cdot 10^{-12}\text{Ф}$ ; напруга  $U=6,8\text{В}$ .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Проектно-конструкторський розділ. Обґрунтування  
необхідності проектування на основі огляду аналогів.

Розрахунок принципової схеми далекоміра. Розрахунок основних характеристик далекомірів. Технологічний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Лист принципової схеми далекоміра – 1 арк. ф. А1. Складальне креслення далекоміра – 1 арк. ф. А3. Робочі креслення деталей – 2 арк. ф. А4. 3D зображення лабораторної установки – 1 арк. ф. А1. Далекмір – графічні залежності – 1 арк. ф. А1.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Антонюк В.С., д.т.н., професор		

7. Дата видачі завдання 15 травня 2019 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розробка принципової схеми	15 травня 2019 р.	
2	Розробка графічних залежностей	2 червня 2019 р.	
3	Проведення розрахунків далекоміра	5 червня 2019 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки	7 червня 2019 р.	
5	Представлення ДПБ на кафедрі	12 червня 2019 р.	
6	Передача електронної версії ДПБ	14 червня 2019 р.	
7	Представлення ДПБ до екзаменаційної комісії	18 червня 2019 р.	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

О. О. Вінцевич  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

О. М. Безвесільна  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: «Далекомір відстані до рухомих об'єктів»

---

---

---

Київ – 2019 року

## **Анотація**

Даний дипломний проект включає у себе огляд літературних джерел, проектно-конструкторський та технологічний розділ.

В огляді літературних джерел проаналізовані найпоширеніші методи вимірювання відстані, види виміру відстані на місцевості та розглянуто аналоги ультразвукових далекомірів.

У проектно-конструкторському розділі описані особливості роботи п'єзодатчика, проведені розрахунки основних електричних параметрів п'єзоелектричного датчика, його основних параметрів та енергетичний розрахунок ультразвукового вимірювача дальності.

У технологічному розділі були розраховані показники технологічності, розроблена схема складального складу та технологічна схема. На основі цих показників можна зробити висновок, що існує можливість підвищення рівня технологічності за рахунок подальшого розвитку.

## **Summary**

This graduation project includes a review of literary sources, design and technology section.

In the review of literary sources, the most common methods of measuring distance, types of distance measurement on the ground are analyzed and analogues of ultrasound range finders are considered.

The design-design section describes the features of the operation of the piezoelectric sensor, calculates the basic electrical parameters of the piezoelectric sensor, its main parameters and the energy calculation of the ultrasonic range meter.

In the technological section, the indicators of productivity were calculated, the assembly scheme and the technological scheme were developed. On the basis of these indicators, we can conclude that there is a possibility of increasing the level of technological ability due to further development.

## ЗМІСТ

**ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....**

**ВСТУП.....**

**РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....**

1.1 Найпоширеніші методи вимірювання відстані.....

1.2 Види виміру відстані на місцевості.....

1.3 Ультразвуковий вимірювач дальності.....

1.3.1 Структурна схема.....

1.3.2 Аналіз існуючих ультразвукових далекомірів.....

1.4 УЗД вимірювання відстані.....

1.4.1 HC-SR04 Ultrasonic Sensor Distance Measuring Module....

1.4.2 Hrlv maxsonar ez0 mb1003.....

1.4.3 sdm-io 0-1500mm 10ms.....

1.4.4 Ультразвуковий сенсор GH-311.....

1.4.5 NU50E57TR-1.....

1.4.6 Ultrasonic Transducer in Air TA00225-10.....

1.5 Рефлекторний режим роботи датчика відстані .....

1.6 Висновки до розділу 1.....

**РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....**

2.1 Особливості роботи п'єзодатчика.....

2.2 Матеріали для прийому і передачі.....

					<i>ДІП ПІ51 00.000 ПЗ</i>		
Ізм.	Лист	№ докум	Підпись	Дата			
Разраб		Вінцевич О.			<i>Далекоміри відстані до рухомих об'єктів</i>		
Пров							
Н. Контр.							
					Литера	Лист	Листов
					у	7	

2.3 Розрахунки основних електричних параметрів п'єзоелектричного датчика.....	
2.4 Визначення основних характеристик п'єзоелектричного датчика....	
2.5 Енергетичний розрахунок ультразвукового вимірювача дальності...	
2.6 Похибки ультразвукового далекоміра.....	
2.7 Залежність швидкості ультразвуку від атмосферного тиску і температури середовища.....	
2.8 Експериментальна установка для отримання характеристик УЗ перетворювачів.....	
2.9 Висновки до розділу 2.....	
<b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ.....</b>	
3.1 Короткий опис складальної одиниці.....	
3.2 Відпрацювання складальної одиниці на технологічність.....	
3.2.1 Визначення основних показників технологічності.....	
3.3 Технологічна схема складання.....	
3.4 Схема складального складу.....	
3.5 Розрахунок складальної одиниці на точність.....	
3.6 Координатний метод.....	
3.7 Екстремальний безномінальний метод.....	
3.8 Висновки до розділу 3.....	
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	
<b>ДОДАТКИ.....</b>	

					<i>ДП ПІ51 00.000 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб		Вінцевич О.			<i>Далекоміри відстані до рухомих об'єктів</i>			
Пров								
Н. Контр.								
					Литера	Лист	Листов	
					у	9		



## ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Gr - комп'ютерний генератор сигналів;

Osc - комп'ютерний осцилограф;

БП - блок живлення 12 В;

КП – керуючий пристрій;

ЛУ – лабораторна установка;

ПЕ – п'єзоелектричний ефект;

ПК – персональний комп'ютер;

ПРД - передавач ультразвукового сигналу;

РК – рідкокристалічний індикатор;

УВВ - пристрій введення виведення інформації;

УД – ультразвуковий датчик;

УІСК – ультразвукова інтерактивна система координат;

УП – ультразвуковий перетворювач;

ФД – фазовий детектор;

ЧЕ – чутливий елемент;

## ВСТУП

Далекоміри – це прилади, що можуть визначати відстань до об’єкту від кількох сантиметрів до десятків метрів. На сьогоднішній день, далекоміри можна поділити на активні та пасивні.

Активні далекоміри визначають відстань до об’єкта за допомогою того, що випромінюванням лазера або світлодіода прилад підсвічує вимірюваний об’єкт.

Пасивні далекоміри працюють на параллаксному методі. Такими приладами раніше користувались у фототехніці, але данні прилади швидко вийшли з побуту через невелику точність та дальність вимірів. Відстань до об’єкта визначається за допомогою знаходження висоти рівнобедреного трикутника за відомою стороною та протилежного гострого кута. Одне із значень сторони або кута є постійним, а інше – змінним.

Класичні далекомірні системи використовують імпульсне або постійне електромагнітне випромінювання. Мають високу точність вимірів. Такі прилади використовують для виміру великих відстаней через те, що вони мають високу швидкість поширення електромагнітних хвиль. Також, недоліком класичних далекомірів є те, що їх неможливо використовувати в областях з гарною провідністю та високим запитом щодо електромагнітної сумісності.

Телевізійна далекомірна система розроблена, як кутомірна, та може вимірювати відстань до об’єктів, що знаходяться у прямій видимості. Вона має кілька телевізійних камер, розташованих на відстані один від одного. Камери слідкують за кутовою позицією об’єкта. Відстань до об’єкта можна визначити за допомогою розрахованих кутових координат і всіх відомих відстаней між камерами. Прилади, що використовують подібні системи, мають велику точність виміру кутової позиції об’єкта. Недоліки таких систем в тому, що вони мають

проблеми з виміром відстані у реальному часі та труднощі в розпізнаванні об'єктів. Сюди ж можна віднести і дороговизну цього методу. Для такої системи важливим чинником впливу є освітленість об'єкту.

Лазерні далекоміри мають детектори випромінювання та імпульсний лазер у своїй конструкції. Відстань до об'єкта визначається за допомогою виміру часу, за який промінь проходить від приладу до об'єкту та назад. Лазерні далекоміри можуть вимірювати відстань від 0,3 м до 5 м. Мають похибку результатів не більше 1 см.

Подібні прилади широко використовують у війсьній техніці. Так, лазерні далекоміри встановлюють: в системах бортової артилерії, де вони допомагають з управлінням вогнем; на танках для керування снарядами, підвищення точності та бойової потужності техніки.

Також далекоміри використовуються у навігації для роботів BostonDynamics. Вони допомагають роботам обходити та не врізатись у перешкоди і більш точно розраховувати свій подальший маршрут. Крім того, далекоміри необхідні в геодезії та фотоапаратах.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

					ДП ПІ51 00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		13

## 1.1 Найпоширеніші методи вимірювання відстані

Найрозповсюдженим методом виміру відстані до рухомого об'єкту є метод, що використовують для автомобілів. Для цього необхідно підрахувати кількість обертів колеса, що дотикається до дороги. Вимір здійснюється завдяки механічному відліковому механізму. Через понижуючий редуктор він підключається до трансмісії автомобіля. Сучасні прилади такого типу мають перетворювач, що може перетворювати швидкість обертання колеса в електричні імпульси. Результати вимірів підраховують завдяки інтегралу від швидкості по часу та розрахунку всіх електричних імпульсів за цей час. Розрахунки ведуть електронні лічильники числа імпульсів, які постійно висвічують результати на екран приладу.

Цей метод допомагає вимірювати початковий шлях космічних ракет. При цьому, для вимірів використовують ефект Доплера, через відсутність «колеса, що дотикається до дороги». Розрахунок електронним лічильником допомагає нам отримувати цифрові миттєві значення шляху, що пройшов об'єкт.

Також популярним є метод радіолокації. Суть методу в тому, що до об'єкта, відстань котрого ми вимірюємо, подається короткий імпульс. Він відбивається від об'єкту, коли досягає його, і повертається назад до приладу, де його “ловить” приймач. Потім обраховують час, за який цей імпульс повернувся назад з моменту його відправки. Так і знаходять відстань.

На сьогоднішній день існує Глобальна Позиційна Система, що працює завдяки супутників, які знаходяться орбіті Землі і можуть надавати інформацію в будь-якій точці світу 24 години на добу, де завгодно.

Разом з програмним забезпеченням моніторингу, приймач є системою передачі географічних даних. Глобальна Позиційна Система призначена для точного відображення, створення та оновлення колекцій ГІС-баз даних (Географічна Інформаційна Система). За допомогою вискоефективного програмного забезпечення для керування та прецизійних приймачів, можливо визначити доволі точне положення об'єкта. Згодом, цю інформацію можливо записати в цифровій формі.

Також її можливо буде перенести до просторової бази даних на основі вибору користувача.

Цей метод не доцільно використовувати для вимірів малих відстаней. Тому для того, щоб виміряти невелику відстань, краще обирати прилади з акустичними, а не електромагнітними, коливаннями. Такі системи використовують в ультразвукових ехолотах, що допомагають визначати глибину озера, моря або океану.

## 1.2 Види виміру відстані на місцевості

Візуальна відстань виходить за допомогою порівняння відомих сегментів області. Для точності вимірів важливий фактор впливу мають освітленість, розмір об'єкта, контрасту об'єкта, прозорість та інше.

Великий вплив на візуальне сприйняття відстані має погода та локація місцевості, а якій знаходиться спостерігач. Так, наприклад, якщо дивитись на великі об'єкти вдалині через воду, поля або рівнини, то відстань візуально нам здається меншою, ніж вона є в реальності. Якщо дивитись на об'єкти в сутінках, під час дощу або в туманній місцевості, то відстань буде здаватись нам більше.

Всі ці нюанси необхідно враховувати, коли визначаєте відстань візуально, тому що вони можуть вносити великі похибки при визначенні відстані на місцевості. Точність таких вимірів залежить виключно від самого спостерігача. Якщо спостерігач є досвідченим в цій сфері там має великий досвід, то, наприклад, він має приблизну похибку в 10-15% при вимірах відстані до 1000 м.

Відстань на місцевості можливо визначати за допомогою спідометра. Автомобіль вимірює відстань, яку він проїхав, якраз таки за допомогою спідометру. Результати подалі обраховують як різницю значень при початку та при кінці руху.

При таких вимірах також є свої нюанси. Наприклад, виміри відстані автомобіля, що рухався по дорозі з твердим ґрунтом, будуть більші від реальної приблизно на 3-5%. На болотистій місцевості ці показники зростають до 8-12%. Ці похибки з'являються через ковзання коліс, зносу шин та їх покриттів. Уникнути цих похибок

можливо завдяки тому, що можливо ввести поправки у показання спідометру. Ця поправка визначається перед тим, як автомобіль почне рух і, відповідно, спідометр почне працювати. Обирають маршрут з такою ж текстурою дороги, як і майбутній маршрут автомобіля з спідометром, до якого необхідно занести поправки. Тестовий автомобіль проїжджає цю ділянку до кінця та в зворотному напрямку. При цьому, з спідометра цього автомобіля знімають показання. Виходячи з отриманих даних, визначається середня довжина контрольованої зони і віднімається розмір цієї ж зони, після чого вона визначається на карті або на місцевості. Далі, для отримання коефіцієнту поправки, необхідно результат, що ми отримали, розділити на довжину зони і помножити на 100. Наприклад, якщо середня довжина контрольованої зони 5,6 км, а те, що виміряли по карті 4,8, то коефіцієнт поправки буде дорівнювати:

$$K = \left( \frac{5,6-4,8}{4,8} \right) \cdot 100\% = 16,6\%. \quad (1.1)$$

Також відстань можливо вимірювати кроками. Такий метод використовують, коли роблять схему місцевості, рухаються по азимуту або наносять різні орієнтири та знаки на карту. Зазвичай, рахують кроки попарно. Відмітки роблять кожну сотню пар кроків або ж починають рахувати заново. Коли виміряну величину переводять у метри, то загальну кількість пар кроків множать на відстань однієї пари кроків. Наприклад, відведений маршрут зайняв 226 пари кроків. 1,7 м – довжина однієї пари кроків. Звідси ми маємо

$$Д = 226 \cdot 1,7 = 384,2 \text{ м.}$$

Середньостатистичний крок людини з середнім ростом рівняється 0,7-0,8 м. Можливо визначити довжину власного кроку. Для цього слід скористатись наступною формулою:

$$Д = \left( \frac{Р}{4} \right) + 0,37, \quad (1.2)$$

де Д – довжина одного кроку в метрах, Р – зріст людини в метрах.

Рахувати кроки також можливо виконувати з поміччю крокоміра (рис. 1.1). Зазвичай, вони не більші, ніж кишеньковий годинник. Молоточок розміщується всередині пристрою і опускається при русі, після чого повертається у вихідне положення під вагою пружини. У цьому випадку пружина перескакує на колесо і його обертання впливає на стрілку. Крокомір міцно прикріплений до одягу. Цей механізм працює під час ходьби і обчислює кожен крок через коливання обладнання.



Рисунок 1.1 – Крокомір

Електронний далекомір - це пристрій, що отримує показання завдяки інфрачервоним або спектральним хвилям. Так званий нерелекторний електронний далекомір для мисливських конструкцій, що вимірює відстань об'єктів без спеціальних відбивачів. Оптичний далекомір має дві лінзи, через які світло відбивається мисливським об'єктом. Ліва призма буде непорушною, коли права призма буде обертатись навколо своєї осі. Коли користувач використовує оптичний далекомір, він отримує два зображення, які накладаються одне на одного і об'єднуються кільцем фокусування. Оптичні далекоміри найкраще підходять для лучників, а лазерні далекоміри часто використовуються при стрільбі з рушниць. Лазерний далекомір, по суті своїй, являється електрооптичним пристроєм з лазером і детектором випромінювання, що працює в діапазоні довжин хвиль інфрачервоного діапазону. Лазерний далекомір працює, вимірюючи час імпульсу, що проходить шлях



до об'єкту і час, який необхідний імпульсу для того, щоб відбитися і повернутись назад.

Лазерний далекомір (рис. 1.2), як різновид електричного далекоміра, працює завдяки лазерного проміння. Зазвичай використовується в інженерній геодезії, вимірюванні місцевості, у військовому направленні, навігаційному, в астрономії, при дослідженнях космосу, та в фотоапаратурі. На сьогоднішній день, лазерні далекоміри доволі компактні та прості в використанні. Великий плюс таких далекомірів у тому, що за доволі короткий час вони можуть розрахувати відстань до об'єктів в високою точністю.



Рисунок 1.2 - Лазерні далекоміри

Лазерний далекомір (рис. 1.3) являє собою пристрій, який має в собі імпульсний лазер та детектор випромінення. Відстань між лазером і об'єктом можна розрахувати шляхом вимірювання довжини маршруту до об'єкту и назад та знанням швидкості світла.

Властивість випромінювання в тому, що воно поширюється з постійною швидкістю для визначення відстані об'єкта. Тому в імпульсному довгостроковому методі беруть таке співвідношення:

$$L = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n}, \quad (1.3)$$

де  $L$  — відстань до об'єкта,  $c$  — швидкість світла у вакуумі,  $n$  — показник переломлення середовища, в якому розповсюджується випромінювання,  $t$  — час проходження імпульсу до цілі і назад (табл.1.1).

Проаналізувавши дане співвідношення можна сказати, що потенційна точність вимірювання відстані визначається точністю встановлення часу, за який енергетичний імпульс проходить до об'єкту та назад. Найкращий результат можливо отримати, коли імпульс короткий.

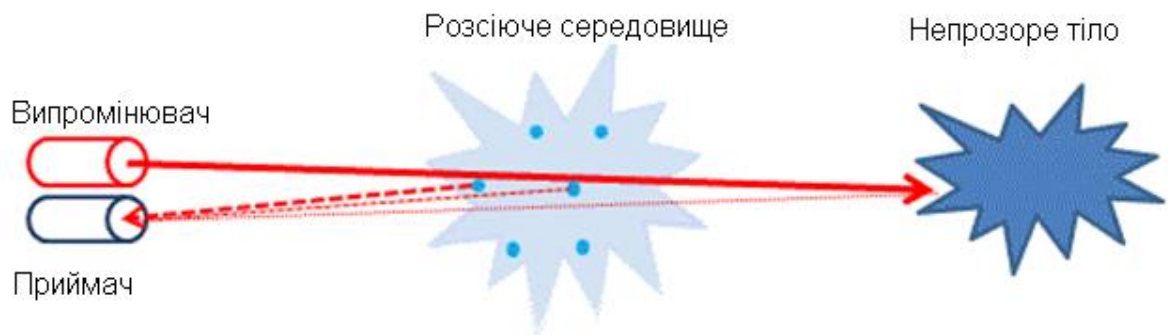


Рисунок 1.3 - Схема вимірювання лазерного далекоміра

Таблиця 1.1 - Час проходження імпульсу до цілі і назад

Відстань до цілі	1 м	10 м	100 м	1 км	10 км	100 км
Час відгуку	6,7 нс	67 нс	0,67 мкс	6,7 мкс	67 мкс	0,67 мс

Робота ультразвукового далекоміра заснована на поширенні звукових хвиль у повітряному середовищі та їх відбиванні від об'єктів, що контролюються.

Відстань до об'єкту визначається завдяки тому, що враховують запізнення сигналу, що приймають, щодо випромінюваного.

«Інформація про відстань до контрольованого тіла, точніше деякої відбиваючої зони, що належить поверхні контрольованого тіла, визначається тимчасовим запізненням прийнятого сигналу щодо випромінюваного.

Приблизно таким же чином кажани орієнтуються у просторі: вони випромінюють вперед спрямований пучок ультразвукових коливань і ловлять відбитий сигнал» [1].

Звукова хвиля поширюється в повітряному середовищі з відповідною швидкістю, і тому, щоб затримати прихід відбитого сигналу, достатньо точно можна судити про відстань, на якому розташований об'єкт, який відображає звук. Ультразвуковий далекомір вимірює відстань до контрольованого об'єкту відповідно до схеми виявлення ехолокації (рис. 1.4) [65].

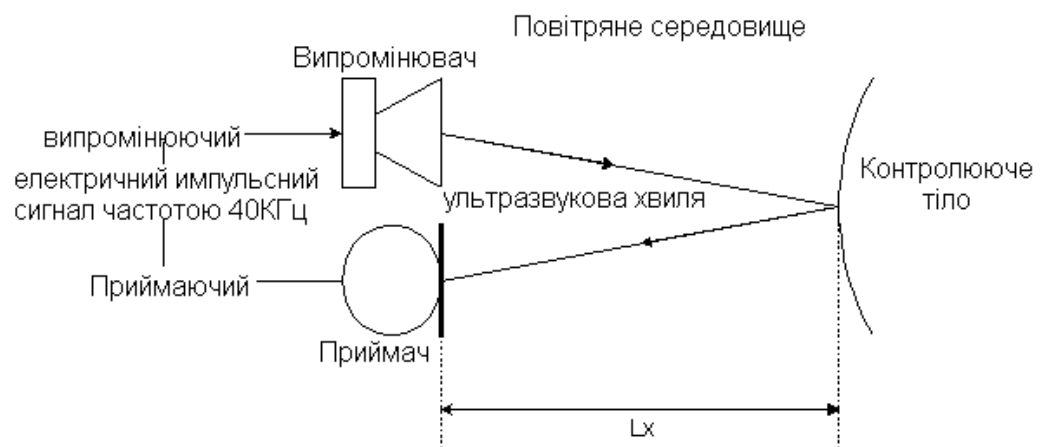


Рисунок 1.4 – Схема ехолокації

Щоб виміряти дальність у повітряному середовищі, можна користуватись п'єзокерамічним перетворювачем, який працює з частотою 40 кГц (наприклад, МУП-3 і МУП-4 виробництва «ЕЛПА» в Зеленограді). Передавальний та приймальний п'єзокерамічні перетворювачі вибираються таким чином, щоб частота резонансного випромінювання передавача збігалася з резонансною приймаючою частотою приймача для формування акустичного блоку.

Прикладом застосування розробленого ультразвукового далекоміра може бути контроль відстані транспортного засобу одне від одного під час його руху, в разі недостатньої видимості на дорозі та на маленьких швидкостях (рис. 1.5). Також такі далекоміри використовують у будівництві при вимірах довжини (рис. 1.6) та заповнення горизонтального ємності рідкою речовиною та тощо.



Рисунок 1.5 -

Ультразвуковий паркувальний  
радар для автомобілів



Рисунок 1.6 - Ультразвуковий

далекомір

### 1.3 Ультразвуковий вимірювач дальності

#### 1.3.1 Структурна схема

Перед тим, як розпочати розробку блоків прийому та передачі функції, спочатку аналізується, і розробляється структурована схема приладу.

Прилад має реалізувати наступні опції за один цикл вимірів:

- формування, стиснення та випромінювання звукового сигналу;
- прийняти відбитий сигнал, підсилити його і провести полосову фільтрацію;
- виявити сигнал в двох ортогональних каналах;
- розвивати когерентну фільтрацію у двох ортогональних каналах;
- з урахуванням корекції екологічної свідомості, визначити час затримки в часі

- обчислити відстань до об'єкта;

Враховуючи всі функції, що біли зазначені вище, скомпільуємо структурну схему пристрою (рис. 1.7).

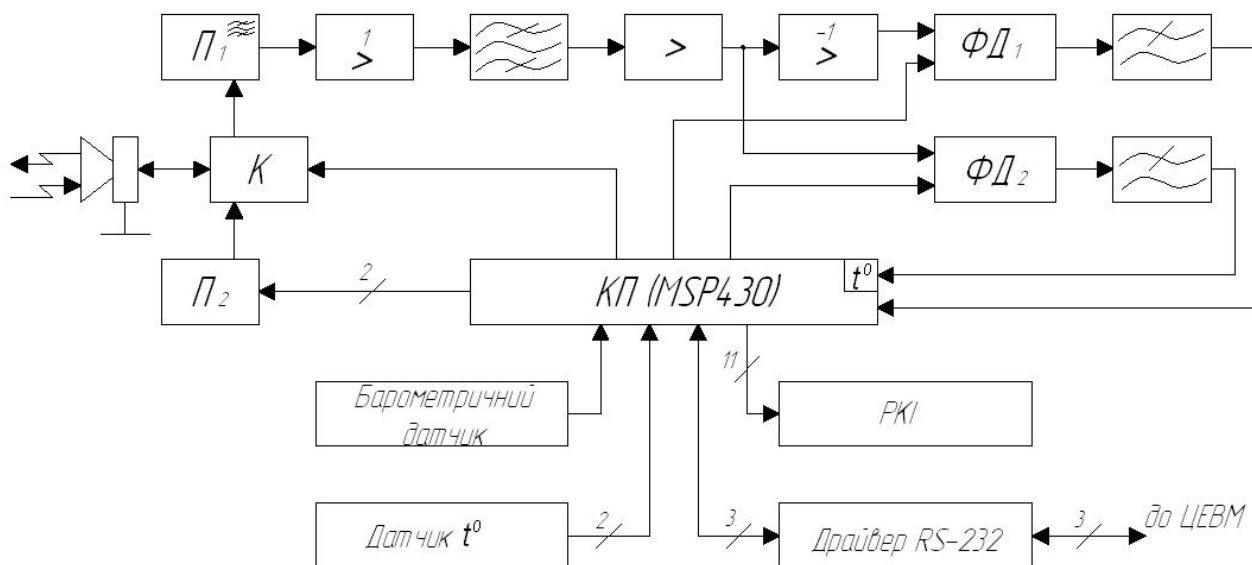


Рисунок 1.7 – Структурна схема ультразвукового далекоміра

«На структурній схемі використані наступні умовні позначення:

**КП** - керуючий пристрій (мікроконтроллер TI MSP430 F2618) з

адаптивним алгоритмом формування та обробки сигналу;

**П2** - вихідний підсилювач зондуєчого сигналу;

**К** - комутуючий пристрій;

**П1** - вхідний підсилювач;

**ФД1, ФД2** - фазові детектори;

**РКІ** - рідкокристалічний індикатор.» [1]

### 1.3.2 Аналіз існуючих ультразвукових далекомірів

Розглянемо деякі моделі. Приклади УЗД, виконаного на МК MSP430, Atmel і PIC, описані в літературі [2, 3, 4]. Нижче наведені деякі з існуючих ультразвукових і парковочних моделей радарів. Крім того, розглянемо УЗД, розроблений відділом РС і описаний в [5, 6].

## 1.4 УЗД вимірювання відстані

### 1.4.1 HC-SR04 Ultrasonic Sensor Distance Measuring Module

«HC-SR04 (рис. 1.8) – це поміщені на одну плату приймач і передавач ультразвукового сигналу. Динамік і мікрофон, по суті, тільки для нечутного людському вуху ультразвуку. Крім самих приймача і передавача на платі знаходиться ще і необхідна обв'язка, щоб зробити роботу з цим датчиком простою.

Датчик має низьке енергоспоживання, що також є важливим параметром у випадку з мобільними роботами. Живиться HC-SR04 від 5V, що теж зручно у випадку, коли він підключається до arduino.

У HC-SR04 є чотири контакти. Два з них (знаходяться по краях) - це живлення мікросхеми (позначені VCC і GND). По середині: один контакт тригера (позначений trig), а другий контакт Echo.

Технічні характеристики:

- напруга: 5V (DC);
- струм: <2 мА;
- вихідний сигнал: 5V, 0V;
- датчик кута: 15 град;
- дальність: до 4,5 м;
- точність: 0,03 м;
- вх. сигнал запуску: 10us TTL;
- ехо сигнал: вихідний сигнал TTL PWL. » [64]



Рисунок 1.8 - HC-SR04 Ultrasonic Sensor Distance Measuring Module

#### 1.4.2 Hrlv maxsonar ez0 mb1003

«Hrlv maxsonar ez0 mb1003 (рис. 1.9) легкі у використанні ультразвукові далекоміри від maxbotix. Вони працюють так само, як лінії ez. Але це нові з високою роздільною здатністю 1 міліметра, як і решта maxbotix далекоміри. Ці датчики мають аналогову напругу, RS-232 послідовний інтерфейс, і тривалість імпульсу виходів яка забезпечує легку взаємодію з будь-яким мікроконтролером. Ці датчики мають максимальну дальність 5000 мм (195 дюймів) практично без мертвих зон.

Технічні характеристики:

- робоча напруга: 2.5-5.5 В;
- частота 42 кГц;
- робочий струм: 3.1 мА;
- немає мертвих зон;
- 10 Гц швидкість опитування;
- відповідність стандартам rohs;
- робоча температура: від - 15<sup>0</sup>С до + 65<sup>0</sup>С;
- автоматичне калібрування у реальному часі;
- максимальне вимірювання відстані 5000 мм (195 дюймів). » [64]



Рисунок 1.9 - HRLV MaxSonar EZ0 MB1003

#### 1.4.3 sdm-io 0-1500mm 10ms

«Технічні характеристики:

- робоча напруга: 2.5-5.5 В;
- частота 40 кГц;
- робочий струм: 3.5 мА;
- 10 Гц швидкість опитування;
- відповідність стандартам rohs;
- робоча температура: від - 15<sup>0</sup>С до + 65<sup>0</sup>С;
- автоматичне калібрування у реальному часі;
- максимальна вимірювання відстані 5000 мм (195 дюймів) ;
- розмір: 50x20x25mm.

Зовнішній вигляд sdm-io 0-1500mm 10ms наведено на рис. 1.10. » [64]





Рисунок 1.10 - sdm-io 0-1500mm 10ms

Зображення роботи датчика наведено на рис. 1.11.

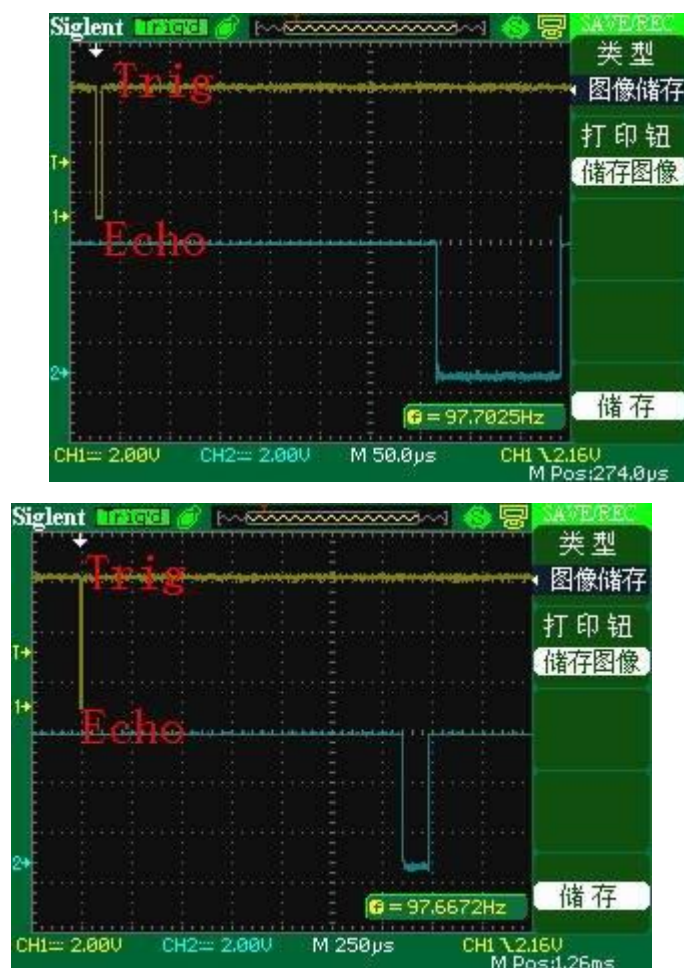


Рисунок 1.11 - Робота датчика на осцилографі

#### 1.4.4 Ультразвуковий сенсор GH-311

«Зовнішній вигляд ультразвукового сенсора GH-311 наведено на рис. 1.12.



Рисунок 1.12 - Ультразвуковий сенсор GH-311

Відомо, що ультразвукове виявлення об'єктів можна порівняти з фізичним принципом дії у летючої миші. Вона посилає короткі імпульси на частоті  $\sim 40$  КГц і прислухається до того, наскільки швидко з'являється ехо. Чим швидше, - тим ближче об'єкт, від якого відбився звук.

З точки зору робототехніки, ультразвукові датчики досить енергетично витратні, але мають незаперечну перевагу перед парами інфрачервоних світлодіодів і фотодіодів. Вони працюють стабільно незалежно від того, як змінюється навколишнє освітлення.

Технічні характеристики:

- робоча напруга: 2.5-5.5 В;
- частота 40 кГц;
- робочий струм: 3.5 мА;
- 10 Гц швидкість опитування;
- задоволення стандартам rohs;
- робоча температура: від  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+65^{\circ}\text{C}$ .

Однак, GH-311 не може визначати відстань до об'єкта, а тільки повідомляє: виявлено щось чи ні. Залежно від цього змінюється стан виходу OUT (5В/0В). » [64]

### 1.4.5 NU50E57TR-1

«Зовнішній вигляд герметичного ультразвукового датчика NU50E57TR-1 наведено на рис. 1.13.



Рисунок 1.13 - Герметичний ультразвуковий датчик NU50E57TR-1

Це керамічний ультразвуковий датчик з NU50E57TR-1.

Технічні характеристики:

- міцний герметичний;
- використовуючи метод подвійного призначення;
- центральна частота:  $50.0 \pm 3.0$  кГц;
- ширина смуги 4.0KHz;
- Ехо-чутливість: 0 дБ = 400V<sub>p-p</sub>, 50 Сплески, 100 см-хв 78дБ;
- опір:  $160 \pm 30\%$ ;
- вхідна напруга 1000V<sub>p-P</sub>;
- спрямованість (-3 дБ)  $15^\circ \pm 2^\circ$ ;
- дальність виявлення 0,4 ~ 10 м (віддзеркалення);

- робоча температура від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ ;
- клас захисту IP68. » [64]

#### 1.4.6 Ultrasonic Transducer in Air TA00225-10

«Зовнішній вигляд Ultrasonic Transducer in Air TA00225-10 наведено на рис. 1.14.



Рисунок 1.14 - Ultrasonic Transducer in Air TA00225-10

Технічні характеристики:

- модель TA00225;
- резонансна частота (кГц): 22;
- смуга пропускання:  $\pm 4\%$ ;
- відстань виявлення: 0,80-30м;
- сліпі плями:  $<0,80$ ;
- повний кут пучка  $15 \pm 2^{\circ}$ ;
- електростатична ємність:  $4500\text{пФ} \pm 20\%$ ;
- мінімальний опір:  $600\text{Ом} \pm 30\%$ ;
- максимальна робоча напруга: (2% робочого циклу)  $<4000\text{В}$ ;
- робоча температура від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;
- ступінь захисту IP67;

- розмір (діаметр x висота, мм) 110x190;
- матеріал корпусу ПВХ;
- довжина кабелю 3,5 м. » [64]

### 1.5 Рефлекторний режим роботи датчика відстані

В одній коробці встановлюють передавач і приймач. Ультразвуковий промінь від відбивача відбивається та повертається назад до приймача. Об'єктами в межах роботи є:

- зміною відстані вимірювання;
- відображає сигнал поглинанням або втратою відбиття.

Вихід УЗД виконується в подальших ситуаціях:

- датчик отримує ехо від дрібних об'єктів і референтних відбивачів в конусі звуку;

- датчик не здобуває ехо, оскільки об'єкт відхиляє звук.

Місцеположення опорного відбивача не слід змінювати.

Особливості:

- УЗД дуже надійний та може робити огляд складних об'єктів (накопичення об'єктів або об'єктів з похилими поверхнями)

- УЗД не піддається впливу перешкод і підходить для використання в жорстких робочих умовах.

Якщо синхронізувати ультразвукові датчики, то ми отримаємо можливість одночасно випромінювати ультразвукові імпульси. Щоб уникнути перешкод, синхронізацію краще за все використовувати лише тоді, коли датчики знаходяться близько один до одного.

Ультразвукові датчики завжди виробляють імпульси, які працюють абсолютно незалежно, виключаючи той факт, що чим більше вони працюють в мультиплексованому режимі, тим нижче частота перемикання.

### 1.6 Висновки до розділу 1

1. Далекомірні пристрої на сьогодні не допускають процесу автоматичного розрахунку координат. У них низька ймовірність виміру через помилки оператора (людський фактор) і невелика точність розрахунків (до 1 мм);

2. Сьогодні системи, що визначають координати, мають добрі характеристики та високу ціну;

3. Мета роботи - розробити і розглянути систему ультразвукової взаємодії для визначення координат, - сьогодні є актуальною;

4. Інтерактивна система, що базується на SD HC-SR04, розроблена у даній роботі, призначена для вимірювання координат поверхневих перешкод з точністю 0,1 мм.

## РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

					ДП ПІ51 00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		32

Зазвичай, УЗД будуються за допомогою п'єзоелектричного перетворювача. Такі прилади використовують зворотній та прямий п'єзоефект. Через це, надалі буде розглянуто п'єзоелектричний перетворювач (ПП).

## 2.1 Особливості роботи п'єзодатчика

Суть п'єзоефекту в тому, що коли поверхня п'єзоелектричного кристала стискається або розтягується, створюється заряд, пропорційний силі. Знак заряду може змінитись на інший, коли він переходить від стискування до розтягування. Також, він залежить від типу деформації.

П'єзоелектричний ефект є протилежним. Це означає, що якщо така плата знаходиться в електричному полі, геометрія її параметрів буде мінятись. Чим більше зміна, тим більший потенціал і поверхня множини п'єзоелектричних пластин.

Кварц, фосфат амонію, кераміка титану барію, сегнетова сіль включають в себе п'єзоелектричні ознаки.

Серед цього переліку матеріалів виділяється сегнетова сіль. Вона має більшу чутливість, на відміну від інших матеріалів. При цьому, п'єзоелектричні особливості цього матеріалу мають залежність від температури. Не радиться використовувати сегнетову сіль при температурі  $38^{\circ}\text{C}$ , тому що її п'єзоелектричні риси в такому випадку майже зникають.

Завдяки високій механічній та електричній міцності кварцові панелі використовуються для конструювання високоточних приладів. Кварц, так як і сегнетова сіль, має залежність п'єзоелектричних властивостей від температури. Але температура впливає на ці риси в меншій мірі, ніж у сегнетовій солі, і тому вони не змінюються при температурах до  $250 \dots 300^{\circ}\text{C}$ . Кварцу також має перевагу в тому, що в нього є лінійність його властивостей при навантаженні до пошкодження.

Кристали кварцу мають наступні осі (рис. 2.1). [65]



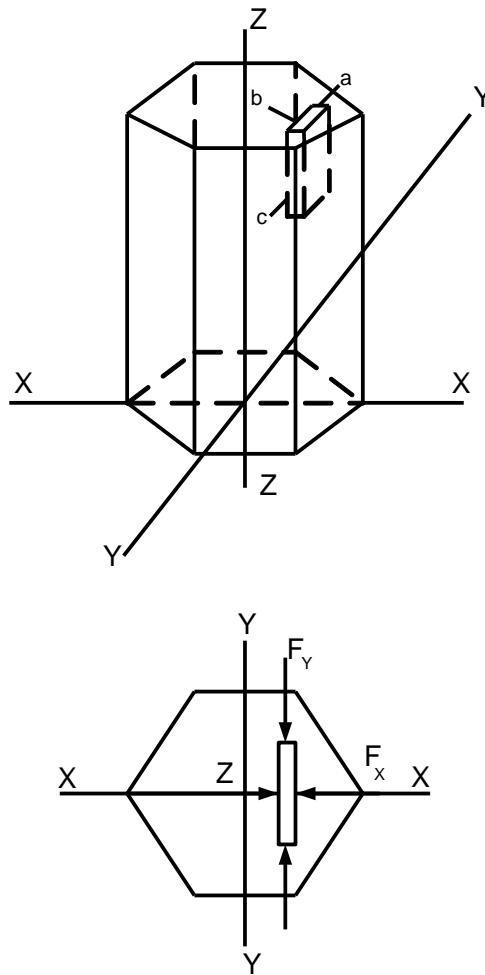


Рисунок 2.1 – Осі симетрії в кристалі кварцу

Вертикальна вісь  $Z - Z$  є оптична вісь, вісь  $X - X$  називається електричною, проходить через край гексагональної призми і є нормальною для осі  $Z - Z$ , вісь  $Y - Y$  є механічною віссю, якщо вона нормально до граней.

Якщо пластини вирізані з кристалів кварцу так, що їхні поверхні відповідають осям  $Z - Z$ ,  $X - X$  і  $Z - Z$ , то пластини піддаються зарядженню під впливом сил  $F_y$  і  $F_x$ , перпендикулярних оптичній осі, на площині, яка перпендикулярна електричній осі, де генеруються заряди.

Кварцова пласти не зможе електризуватись, якщо сила буде спрямована вздовж оптичної осі.

Число електрики, створюваної на площині пластини при застосуванні рівномірної сили на розтяг (стиснення), було виявлено в наступних умовах.

Сила  $F$  вздовж напрямку електричної осі [65]:

$$Q = k_1 \cdot F_x. \quad (2.1)$$

Сила  $F$  вздовж напрямку механічної осі [65]:

$$Q = -k_1 \cdot \frac{S_x}{S_y} \cdot F_y, \quad (2.2)$$

де  $Q$  – електричний заряд, що вимірюється в Кл;  $F_x, F_y$  – це сили, які являються перпендикулярно до оптичної осі і вимірюються в Н;  $S_x, S_y$  – це площі, перпендикулярних поверхонь;  $k_1$  – п'єзоелектрична стала (для кварцу  $2,14 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н).

З рівняння (2.2) ми бачимо, що величина заряду, яка генерується на площині  $bc$  під впливом сили  $F_x$ , не залежить від геометрії пластини.

Поперечний ефект – це п'єзоефект, який з'являється, коли діє сила  $F_y$ .

Частіше за все, до п'єзоелектричних перетворювачів прибігають, коли конструюють приладі, що необхідні для розрахунків змінних тисків, сил та прискорень.

Основні труднощі, коли розраховуються напруги - це безперервне зниження часу за рахунок надходження вантажу з пластини. Це явище розглядається шляхом вивчення фундаментального плану п'єзоелектричного пристрою для вимірювання сили (рис. 2.3, а) [65]. Грані підключаються до підсилювача через негативно заряджений електрод.

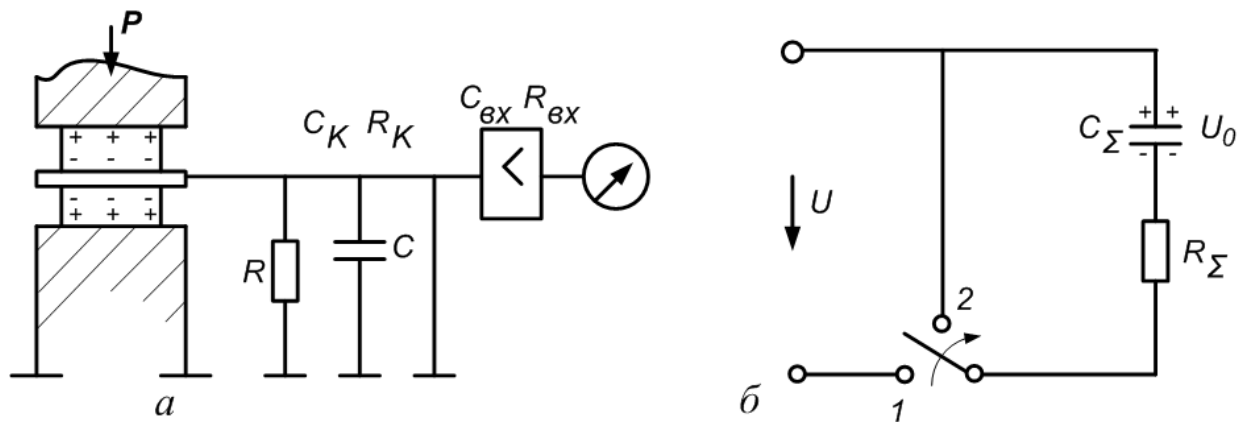


Рисунок 2.3 - Принципова (а) та еквівалентна (б) схеми  
п'єзоелектричного приладу для вимірювання сили

«Ємність  $C_{\Sigma}$  між частиною перетворювача, що несе заряд, і землею містить такі складові:

- ємність між гранями кварцової пластини  $C$ ;
- ємність з'єднувального кабелю  $C_K$ ;
- вхідна ємність підсилювача  $C_{вх}$ .

Опір  $R_{\Sigma}$  складається з таких компонентів:

- поверхневий та об'ємний опори кварцу  $R$ ;
- опір ізоляції з'єднувального кабелю  $R_K$ ;
- вхідний опір підсилювача  $R_{вх}$ ». [65]

Наведений вище масив (рис. 2.3, а) може бути спрощений до паралельної схеми (рис. 2.3,б), що складається з приймального конденсатора  $C_{\Sigma}$ , який розряджається за рахунок опору  $R_{\Sigma}$  і може розглядатися як струм витоку плати п'єзоелектричного перетворювача.

У той же час, завдяки своїй гігроскопічності, поверхневий опір кварцу залежить насамперед від вологості оточуючого середовища. Для підвищення поверхневого опору кварцової пластини необхідно підвищити чистоту поверхні. Поверхню повністю миють, очищають і сушать спиртом, іноді використовуючи спеціальний

осушувач і поміщають всередину зовнішньої оболонки (захисний кожух) конвертера. Особливу увагу слід звернути на поверхневий опір п'єзоелектричного генерації.

Діапазон вхідного підсилювача також повинен мати великий опір. Для задоволення цієї вимоги на вході використовується підсилювач, який має електронну лампу з низькою вхідною ємністю і колосальним вхідним опором.

Визначення напруги між п'єзоелектричними шарами кварцового перетворювача можливе за наступною формулою [65]:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S_x}{d}. \quad (2.3)$$

Якщо сила  $F = 1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$ , площа пластини  $S_x = 5 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , а її товщина  $d = 0,5 \text{ см} = 0,005 \text{ м}$ .

Ємність п'єзоелектричного перетворювача [65]:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S_x}{d} = \frac{3,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}} = 3,1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}.$$

Напруга, що нам потрібна [65]:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{kF_x}{C} = \frac{2,14 \cdot 10^{-12} \cdot 9,81}{3,1 \cdot 10^{-12}} = 6,8 \text{ В}.$$

Однак ця напруга не може бути розрахована за допомогою енергоспоживального пристрою, оскільки вона вивільняє п'єзоелектричний компонент навіть під час навантаження. Тому деформація, взята з п'єзоелектричного перетворювача, зазвичай подається на спеціальну лампу з низькою вхідною ємністю і дуже високим вхідним опором. Основна програма цього з'єднання показана на (рис. 2.4) [65].

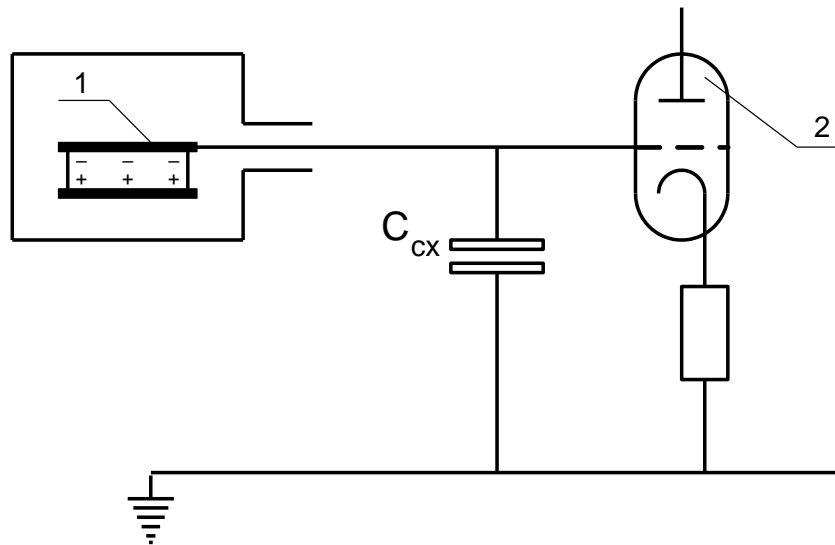


Рисунок 2.5 - З'єднання п'єзоелемента з входом підсилювача

## 2.2 Матеріали для прийому і передачі

П'єзоелектричні перетворювачі доступні як для передачі, так і для операцій прийому. Це важливо, в основному, для деструктивних випробувань. У деяких випадках використовуються лише функції передачі візуальних ефектів, або тільки ті, хто отримує візуальні трансляції. Тому необхідно враховувати переваги п'єзоелектричних матеріалів як передавачів і приймачів.

Ефективність передавача  $\Sigma_T$  розраховується так:

$$\Sigma_T = \frac{K_t}{(1-K_t^2)} (\epsilon_{33}^s / U_{33}^D)^{1/2}. \quad (2.4)$$

Ефективність передавача  $\Sigma_T$  можливо зрахувати також наступним чином:

$$\Sigma_T = \frac{K_t}{(1-K_t^2)} (1/h_{33}) , \quad (2.5)$$

«де  $h_{33} = (U_{33}^D / \epsilon_{33}^s)^{1/2}$ ,  $\epsilon_{33}$  – діелектрична проникність матеріалу при постійному навантаженні (для механічно затиснутого п'єзоелемента),  $U_{33}^D$ -швидкість ультразвуку при постійній деформації (при дії постійної електричної індукції).» [65]

## 2.3 Розрахунки основних електричних параметрів п'єзоелектричного датчика

Маємо можливість розрахувати напругу між пластинами ПД.

Якщо є сила  $F_x = 9.81$  Н на площу ПЕ  $S = 5\text{см}^2 = 5 \cdot 10^{-4}\text{м}^2$ , при висоті ПЕ  $h_n = 0.5$  см = 0.005 м ( $\epsilon_{\text{вак}} = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – діелектрична постійна вакууму,  $\epsilon_{\text{кв}} = 28.6$  – для LiNbO3) [65].

Ємність п'єзоелектричного датчика [65]:

$$C_{\text{ПЕ}} = \frac{\epsilon S}{h_n} = \frac{\epsilon_{\text{к}} \cdot \epsilon_{\text{вак}} \cdot S}{h_n} = \frac{28.6 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}} = 25.33 \cdot 10^{-12} \text{Ф}. \quad (2.6)$$

Напруга, яку ми шукали [65]:

$$U = \frac{Q}{C_{\text{ПЕ}}} = \frac{d_{ij} F_x}{C_{\text{ПЕ}}} = \frac{16.20 \cdot 10^{-12} \cdot 9.81}{25.33 \cdot 10^{-12}} = 6.27 \text{В}. \quad (2.7)$$

«У реальних умовах паралельно власній ємності  $C$  вмикаються також ємності вихідного кола підсилювача  $C_{\text{вх}}$  та відповідного кабелю  $C_{\text{к}}$ ». [65]

Якщо розглянути таку ситуацію, то ми бачимо, що напруга буде зменшуватись і буде дорівнювати:

$$U = \frac{Q}{C + C_{\text{вх}} + C_{\text{к}}}. \quad (2.8)$$

Знайдемо напругу, яка знаходиться завдяки п'єзоелементу. Враховуючі дані, які ми використали вище, справедливо буде сказати, що, якщо ємність схеми  $C_{\text{сх}} = C_{\text{вк}} + C_{\text{к}} = 4 \cdot 10^{-12} \text{Ф}$ , тоді [65]:

$$U = \frac{16.20 \cdot 10^{-12} \cdot 9.81}{25.33 \cdot 10^{-12} + 4 \cdot 10^{-12}} = 5.41 \text{В}. \quad (2.9)$$

Значення сигналу, що ми отримуємо з п'єзоелементу, зменшується через те, що присутня шунтуюча ємність.

Розрахуємо напругу, яка з'являється між пластинами ПД. Якщо є тиск  $F_x$ , який впливає на грані і дорівнює  $10 \text{ кГ/см}^2 = 9.81 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , коли  $C_{cx}=0$ , то [65]:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{kF_x S_x}{C} = \frac{16.20 \cdot 10^{-12} \cdot 9.81 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{25.33 \cdot 10^{-12}} = 314 \text{ В}. \quad (2.10)$$

Коефіцієнт перетворення по заряду [65]:

$$K_3 = \frac{Qn}{g} = \frac{16.20 \cdot 10^{-12} \cdot 9.81 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{9.81} = 810 \text{ нКл} \cdot \text{с}^2 / \text{м}. \quad (2.11)$$

де  $Qn$  – вихідний заряд.

Коефіцієнт прямого п'єзоэффекту, який є на першій пластині [65]:

$$K_n = \frac{SY d_{ij}}{l} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 10^9 \cdot 16.2 \cdot 10^{-12}}{2.2 \cdot 10^{-4}} = 2.95 \text{ Н / м}. \quad (2.12)$$

## 2.4 Визначення основних характеристик п'єзоелектричного датчика

### 1) Робочий діапазон ПД

Передбачається, що величина вихідного сигналу PD (напруга  $U$ ) повинна бути прямо пропорційна величині вхідного значення (рис. 2.6) [1]. Але це може бути зроблено тільки в деякому діапазоні.

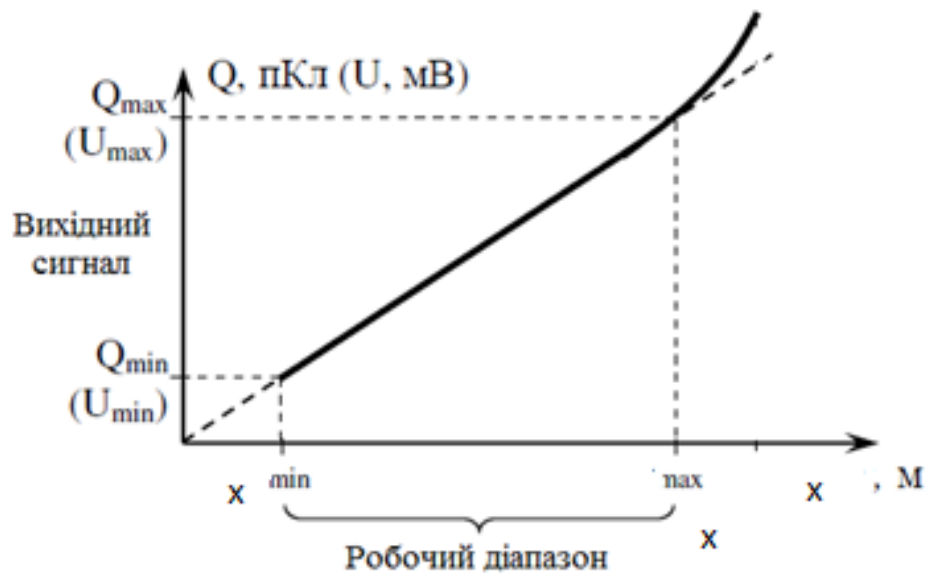


Рисунок 2.6 - Залежність вихідного сигналу ПД від вхідного параметра відстані  $x$

Нижня межа робочого діапазону  $x_{\min}$  є умовленим параметром, який формулюється значенням вихідного сигналу  $U_{\min}$ .  $U_{\min}$  можливо виміряти з точністю, яка нам необхідна. Верхня межа  $x_{\max}$  ПД –  $x$ , розкривається відстанню, що порушує лінійну кореляцію напруги на  $x$ . У сучасних ПД верхній межі належить

## 2) Резонансна частота ПД

У випадку, коли частота зовнішньої інтерференції збігається з власною частотою ПД, резонанс представляє собою явище, в якому амплітуда вимушеного коливання ПД сильно збільшується. Таке явище можливо описати кривою Ленца, а величина резонансної частоти обчислюється за такою формулою [1]:

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}, \quad (2.13)$$

де  $\omega_0$  – власна частота ПД;  $n = \beta$  – коефіцієнт затухання ПД.



Нерезонансний стан ПД:

$$\beta \geq \frac{\omega_0}{\sqrt{2}} \geq \frac{0.1}{\sqrt{2}} \geq 0.07. \quad (2.14)$$

### 3) Діапазон робочих частот ПД

Якщо втрата заряду ПД не генерується повністю, то, теоретично, нижня межа робочої смуги починається майже на нулі.

На рис. 2.7 [1] показана особливість АЧХ ПД.

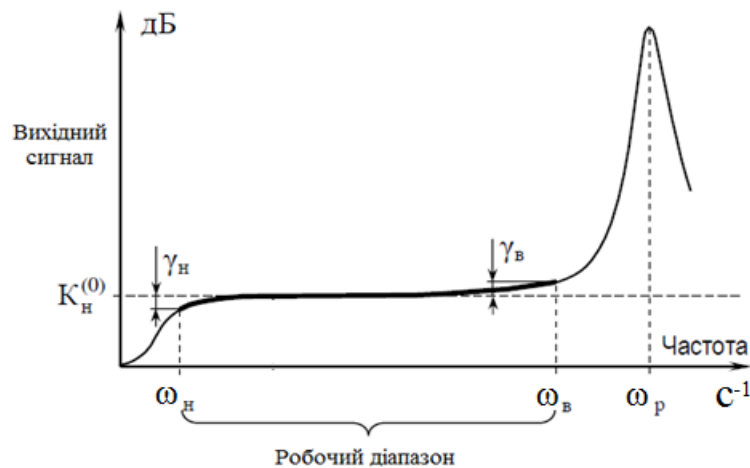


Рисунок 2.7 - Залежність вихідної напруги ПД від частоти при  $x=const$ :  $\gamma_n$ ,  $\gamma_v$  – похибки низькочастотної і високочастотної амплітуди і частоти,  $K_n$  – коефіцієнт перетворення по напрузі;  $\omega_n$ ,  $\omega_v$  – межі частотного діапазону (нижня, верхня);  $\omega_p$  – частота резонансу ПД

### 4) Температурні характеристики ПД

В новітніх ПД, температурні характеристики в значній мірі залежать від типу п'єзоелектричного матеріалу ЧЕ. Вище вже згадувалось про те, що найкращим п'єзоелектричним матеріалом для нових ПГ є ніобат літію. Його температурні характеристики ми й проаналізуємо.

Чутливість ніобата літію змінюється в залежності від температури, як і п'єзоелектрична константа. (рис. 2.8, а) [1].

Відносні діелектричні нечутливості та питомі імпеданси змінюються, коли температура змінюється до точки Кюрі (рис. 2.8, б, в) [1]. Питомий опір значно змінюється по мірі того, як діелектричний просвіт змінюється в достатній мірі з температурою.

Враховуючи все вищесказане, можливо зробити висновок, що ніобат літію абсолютно підходить під вимоги, що стосуються експлуатації ПГ.

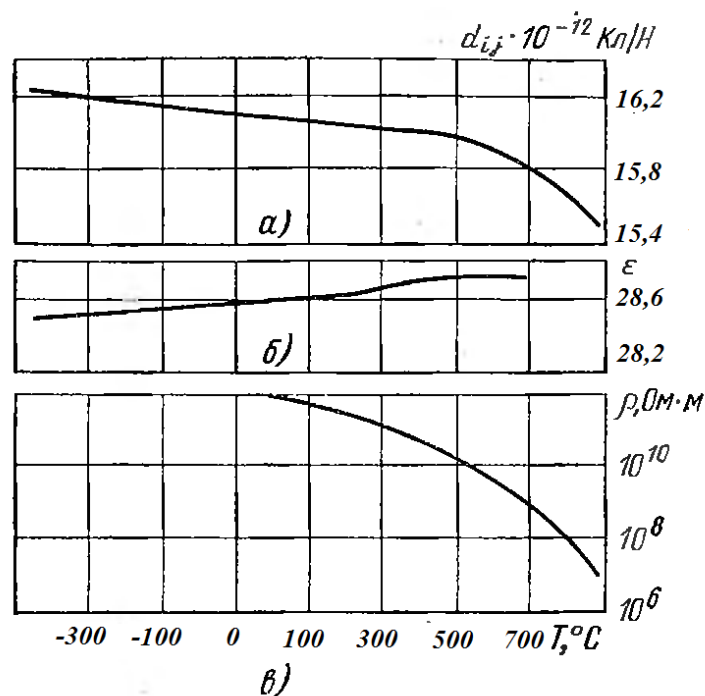


Рисунок 2.8 - Залежність а) п'єзомодуля; б) відносної діелектричної проникливості; в) питомого об'ємного опору від температури

## 2.5 Енергетичний розрахунок ультразвукового вимірювача дальності

Мала пропускна здатність ФЧХ існуючого приймача ультразвукового перетворювача та його не лінійність, є важливими проблемами, через які складні сигнали не використовуються в ультразвукових дистанційних вимірювачах.

Знайдено рішення проблеми, пов'язаної з вузькосмуговими шляхами передачі та передачі - за допомогою корекційного ланцюга.

Можуть бути й інші обмеження для реалізації УЗ:

- Енергія сигналу. Сигнал необхідно випромінювати за такою енергією, якої буде достатньо для того, щоб знайти відбитий сигнал за слідуючими ймовірностями:

$$P_{\text{ЛТ}} = 0.01, \quad P_{\text{ПО}} = 0.99 \quad (2.15)$$

- Точність вимірювання (по відношенню до похибки вимірювання приладу не має перевищувати 1% на всій відстані вимірювання)
- Обчислювальна потужність керуючого пристрою, який використовується. Зазначимо, що для організацій, які координують вхідну фільтрацію, необхідно обмежити обсяг обчислення до 250 000 операцій множення-накопичення в секунду.

Враховуючи вищезазначені обмеження, коли необхідно обирати сигнал виявлення, потрібно буде виконати наступну роботу: енергетичний розрахунок далекоміра, оцінку точності вимірювань і оцінку кількості розрахунків, необхідних для узгодженої організації фільтрації.

Коли звук поширюється в механічному оточенні, амплітуда звукового тиску зменшується за рахунок дифракції, дисперсії, поглинання і незворотного перетворення звукової енергії в інші форми. Оцінка втрат поглинання та обсягу гасіння використовується для визначення максимального діапазону ультразвукового перетворювача.

Коефіцієнт ослаблення (дБ / м) збільшується по мірі збільшення ультразвукової частоти, а коефіцієнт ослаблення пов'язаний з вологістю (повітрям) для будь-якої заданої частоти. Вологість, при якій відбувається максимальне ослаблення, відрізняється для різних частот. Якщо брати частоту вище 125 кГц, то максимальне

ослаблення відбувається при 100% відносної вологості повітря (ВВП), а для частоти 40 кГц - максимальне ослаблення знаходиться на рівні 50% ВВП.

Використовується формула для розрахунку, що допомагає визначити максимальний коефіцієнт загасання для частот від 30 до 400 кГц:

$$a(f) = 0,066f - 1,8, \quad (2.16)$$

де  $a(f)$  - коефіцієнт загасання (дБ / м);  $f$  - частота ультразвуку (кГц) для 20°C, 1атм, а ВВП дорівнює 80%.

Кожні датчики порізно му виробляють sound pressure level (SPL), тобто звуковий тиск. В акустиці звуковий тиск зазвичай виражається в децибелах завдяки великому динамічному діапазону. Звуковий тиск, як абсолютний відносний розмір, відповідає кореляції:

$$SPL = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right), \quad (2.17)$$

де « $P$  - фактичний тиск у мікропаскалях (мкПа);  $P_0$  - опорний тиск, приймається рівним 1 мкПа - мінімальний рівень, що приймається на відстані  $R_0 = 30$ см від датчика. Відповідно,  $R_0$  приймається як опорна відстань» [17].

Під час розповсюдження пучок поширюється радіально до відстані від емітера, а амплітуда звукового тиску  $P$  зменшується за рахунок ослаблення і дисперсії. SPL з відстанню  $R$  від передавача представлено формулою:

$$SPL(R) = SPL(R_0) - 20 \log \left( \frac{R}{R_0} \right) - a(f)R, \quad (2.18)$$

де « $R$  - фактична відстань від датчика;  $R_0$  - опорна відстань;  $a(f)$  - коефіцієнт загасання сигналу з частотою  $f$ » [65].

Формула звукового тиску, яку ми розглянули, є ефективною для прямого поширення звуку з однієї точки в іншу і може бути використана до датчиків з окремими передавачами і приймачами (THRU-BEAM). Для датчика, який має дифузне відображення від пучка світла від об'єкта (та має єдиний елемент, який буде

виконувати роботу як передавач і приймач) по принципу ехолокації, відбувається втрата через відбиття від іншої (більш високої) щільності середовища. Відображення звуку є явищем, яке виникає, коли звукові хвилі потрапляють на границю між двома пружними середовищами і беруть участь у генерації хвиль, що поширюються від межі перерізу в протилежному напрямку. Кількість відбитого звуку залежить від співвідношення акустично опору середовища ( $Z$ ).

Через те, що акустичний опір повітря в 1000 разів більше, ніж опір води, а твердого матеріалу у кілька тисяч разів, ультразвукові хвилі на межі розділу майже повністю відображаються. Якщо світло прямо відображається від плоскої поверхні, то тоді можна ігнорувати взаємодію звуку з твердими речовинами і використовувати формулу Френеля:

$$V = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (2.19)$$

де « $V$  - коефіцієнт відбиття;  $Z_2$  і  $Z_1$  - акустичний опір матеріалів.

Для кордону повітря/вода коефіцієнт відображення  $V$  дорівнює 0,99» [1].

Тоді, звуковий тиск відбитого відлуння можливо знайти за наступною формулою:

$$SPL(2R) = SPL(R_0) - 20 \log \left( \frac{2R}{R_0} \right) - 2a(f)R + 20 \log V, \quad (2.20)$$

де « $R$  - відстань від датчика до об'єкта;  $R_0$  - опорна відстань;  $a(f)$  - коефіцієнт загасання сигналу з частотою  $f$ ,  $V$  - коефіцієнт відображення ( $\sim 1$ )» [1].

Технічна документація [12, 13, 14, 15] показує рівень звукового тиску на контрольній відстані  $R_0 = 0,3$  м і чутливість датчика:

$$SPL(R_0) = 120 \text{ дБ (0 дБ = 0,02 мПа)},$$

$$SENS = -63 \text{ дБ (0 дБ = 10 В / Па)}.$$

Якщо підставити до формули дані рівня звукового тиску на еталонну відстань, виявимо, що кореляція між рівнем звукового тиску, що генерується відбитим сигналом, і відстані від землі відображається в різних частотах сигналу (рис. 2.9).

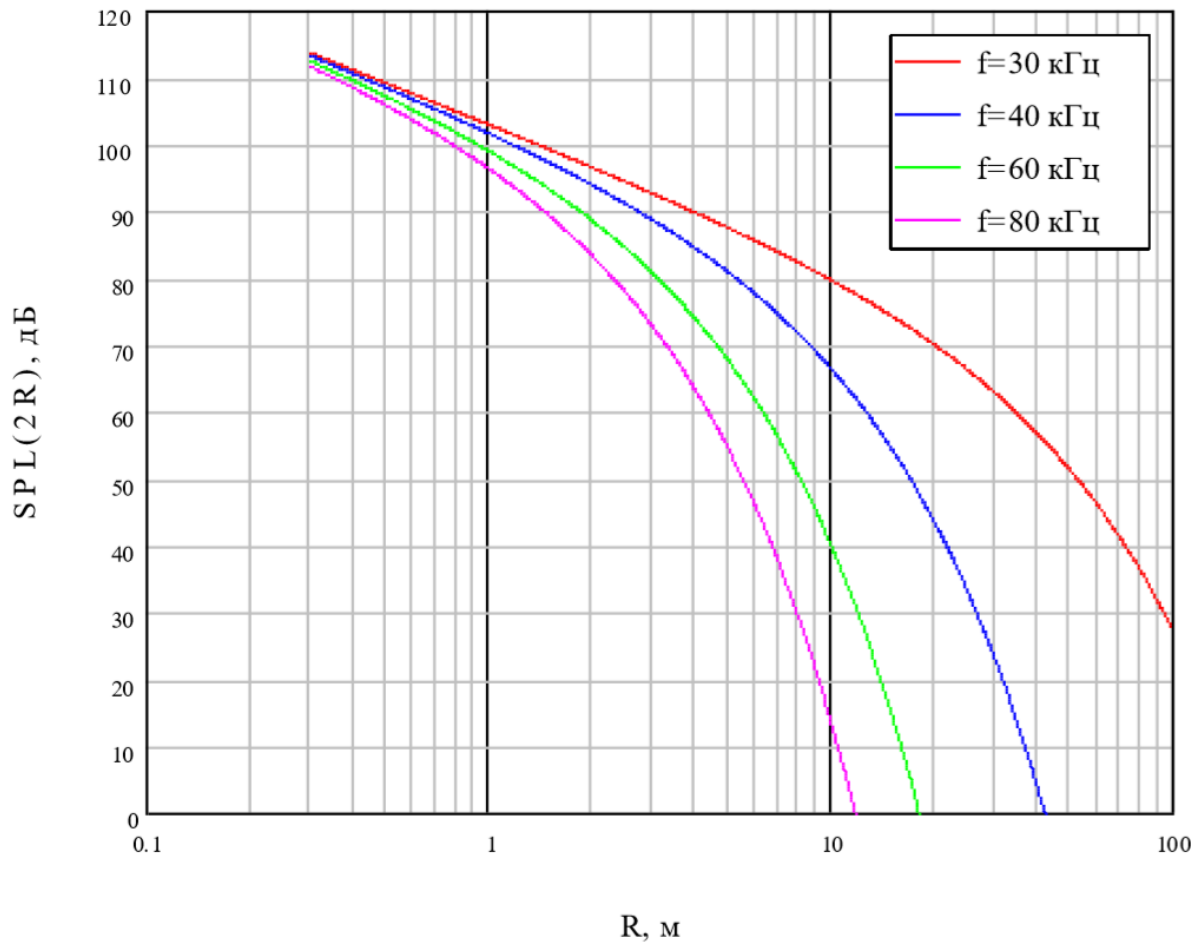


Рисунок 2.9 - Залежність рівня звукового тиску від дальності

Як видно з рис. 2.9, рівень звукового тиску сильно залежить від дальності до передавача.

Коли сигнал, що передається від перешкоди, відображається з коефіцієнтом відбиття, що дорівнює 0,99, і розташований на дальності 30 м від передавача, то тоді рівень звукового тиску, який є у сигналу при 40 кГц, складе 23,5 дБ. Використовуючи чутливість ультразвукового датчика, ми виявили, що отриманий електричний сигнал від датчика має амплітуду 2,12 мкВ.

Використовуючи формулу Найквіста для розрахунку шумової напруги, відношення сигнал / шум можна оцінити по вхідній амплітуді на пристрої обробки.

$$U_{ш} = \sqrt{k \cdot T_0 \cdot \Delta F \cdot R_A}, \quad (2.21)$$

$$\text{де } k = 1.38 \cdot 10^{-23} \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{Гц} \cdot \text{град}} \right], \quad T_0 = 293^{\circ} \text{К}, \quad R_A = 3 \text{кОм}, \quad \Delta F = 14 \text{кГц}.$$

Отримуємо  $U_{ш} = 0,412 \text{ мкВ}$ ;

$$q_U = \frac{U}{U_{ш}} = \frac{2,12}{0,412} = 5,136$$

Тепер знайдемо відношення сигнал / шум, необхідне для входу декодера для виявлення сигналу з заданою ймовірністю:

$$P_{ЛТ} = 0,01, \quad P_{ПО} = 0,99$$

Якщо в сигналі невідома початкова фаза, то характеристики виявлення можуть бути апроксимовані наступною формулою:

$$q = 2 \left( \sqrt{\ln \left( \frac{1}{P_{ЛТ}} \right)} + \sqrt{\ln \left( \frac{1}{1 - P_{ПО}} \right)} - 1,4 \right)^2 \quad (2.22)$$

Для цих ймовірностей вимагає відношення сигнал / шум з потужністю  $q = 30,988$ . Співвідношення сигнал/шум за напругою має наступний вигляд:

$$q_U = q^2 = 960,279$$

Порівнюючи отримані результати через вирази, виявляється, що для того, щоб отримати характеристики, які ми задали, необхідно збільшити відношення сигнал / шум у 187 разів. Існує кілька способів або комбінацій, які дозволяють досягти цього збільшення:

- збільшення енергії за допомогою пристроя;
- тимчасове накопичення;
- зменшення діаграми напрямку передавача;
- обирати складні сигнали та використовувати їх узгоджену обробку.

Неможливо збільшити потужність переданого сигналу, оскільки всі розрахунки базуються на максимально допустимій напрузі збудження датчика ТТХ. Якщо

перевищити значення напруги, яке було зарекомендовано виробником, то це може призвести до несправності перетворювача.

Тимчасове накопичення неможливо використовувати в пристрої, що розробляється, через необхідність визначення дистанції до цілі, що рухається. Оскільки ультразвукова хвиля досягає 30 метрів до цілі, а час повернення становить близько 180 мс, 187 вимірювань призведуть до того, що результат буде отримано лише через 35 секунд, що достатньо лише при вимірюванні відстані до фіксованої цілі.

Зменшуючи діаграму спрямованості, маємо можливість досягти значного підвищення звукового тиску.

Рівень звукового тиску обернено пропорційний площі поверхні переданого сигналу:

$$\frac{SPL_1}{SPL_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (2.23)$$

За допомогою тілесного кута можливо знайти значення площі (рис. 2.10):

$$\Omega = \frac{S}{R^2}, \quad S = \Omega \cdot R^2 \quad (2.24)$$

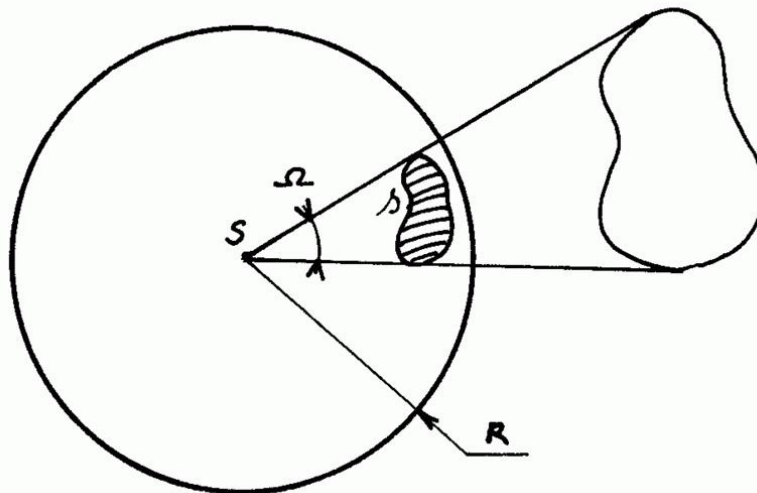


Рисунок 2.10 - Тілесний кут



Тілесний кут має зв'язок з тілом і розчином, що утримує його конус

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \quad (2.25)$$

Тоді,  $S = 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \cdot R^2$ , а рівняння отримає наступний вигляд:

$$\frac{SPL_1}{SPL_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha_2}{2}\right) \cdot R^2}{2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha_1}{2}\right) \cdot R^2} = \frac{1 - \cos \frac{\alpha_2}{2}}{1 - \cos \frac{\alpha_1}{2}} = \frac{\sin^2 \frac{\alpha_2}{4}}{\sin^2 \frac{\alpha_1}{4}} \quad (2.26)$$

Звідси маємо можливість знайти коефіцієнт підсилення антени передавача за формулою:

$$G_{\text{прд}} = 20 \cdot \log \left( \frac{S_2}{S_1} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{\sin^2 \frac{\alpha_2}{4}}{\sin^2 \frac{\alpha_1}{4}} \right) \quad (2.27)$$

Початкове значення кута [12, 13, 14, 15] показано на рис. 2.11.

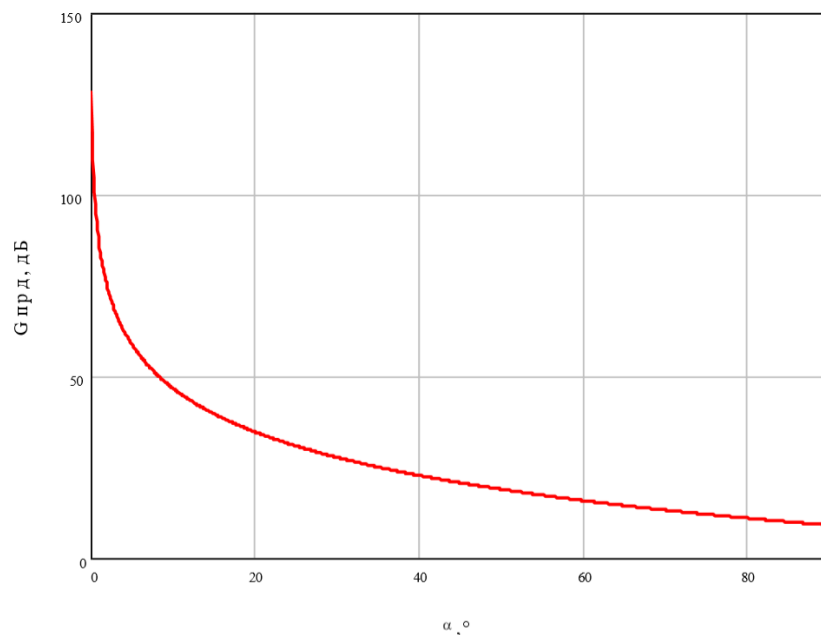


Рисунок 2.11 - Залежність коефіцієнта посилення від кута діаграми спрямованості

Слід зазначити, що такий невеликий кут має такі проблеми:

1. Коли вимірюється дистанція, поверхня для відбивання має знаходитись в перпендикулярному положенні до осі випромінюваного сигналу. Якщо цього не зробити, то відображення не потрапить на приймач, навіть якщо він відхиляється на кілька градусів;

2. Оскільки далекомір може бути розташований на рухомому об'єкті, можуть бути випадки, коли відбитий сигнал не доходить до приймача.

Максимальний кут повороту та поширення сигналу, перпендикулярний поверхні, що відбивається становить 150. Для вирішення іншої проблеми необхідні розрахунки. Як приклад, приведемо рис. 2.12.

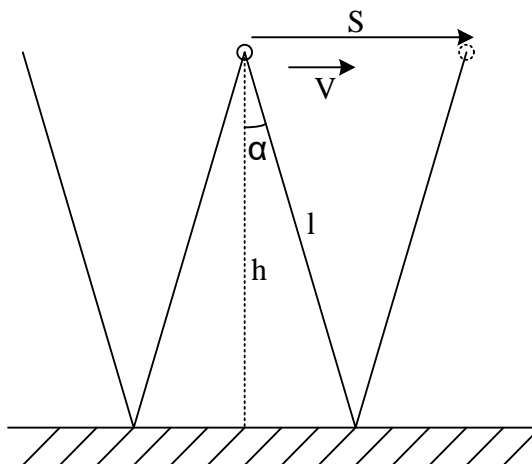


Рисунок 2.12 - Розрахунок мінімальної діаграми спрямованості

Далекомір, який присутній на БПЛА, має виконувати наступну умову для того, щоб використовуватись як висотомір:

$$S \leq 2 \cdot l \cdot \sin(\alpha) \quad (2.28)$$

де,  $S = V \cdot t$ , а час  $t$  знаходиться за швидкістю звуку і шляху, яких долає сигнал

$$t = \frac{2 \cdot l}{V_{зв}}$$

Звідси відомо, що  $\frac{V \cdot 2 \cdot l}{V_{зв}} \leq 2 \cdot l \cdot \sin(\alpha)$  або  $\alpha \geq \arcsin\left(\frac{V}{V_{зв}}\right)$

Об'єкт має швидкість 50 м/с. Швидкість звука дорівнює 340 м/с, а кут  $\alpha \geq 8,5^\circ$ . Якщо ось поширення сигналу не перпендикулярна так само, як і поверхня, що відбиває, то кут має значення  $\alpha \geq 23,5^\circ$ .

З цього робимо висновки, що кут має бути не менше ніж  $47^\circ$ . Отримані значення і значення кута діаграми датчика ТТХ підставляються до формули (2.27):

$$G_{\text{ПРД}} = 20 \cdot \log \left( \frac{\sin^2 \frac{160^\circ}{4}}{\sin^2 \frac{47^\circ}{4}} \right) = 19,968 \text{ дБ} \quad (2.29)$$

Змінюємо формулу (2.20) до наступного вигляду:

$$SPL(2R) = SPL(R_0) - 20 \log \left( \frac{2R}{R_0} \right) - 2a(f)R + 20 \log V + G_{\text{ПРД}} \quad (2.30)$$

Базуючись на вищесказаних значеннях, амплітудне значення прийнятого сигналу розраховується як:

$$SPL(R_0) = 120 \text{ дБ} (0 \text{ дБ} = 0,02 \text{ мПа});$$

$$\text{SENS} = -63 \text{ дБ} (0 \text{ дБ} = 10 \text{ В / Па});$$

$$U = 21,09 \text{ мкВ};$$

$$q_U = \frac{U}{U_{\text{ш}}} = \frac{21,09}{0,412} = 51,173$$

Тому ми маємо можливість зробити висновок, що за рахунок зменшення напрямку графіка, напруга шуму сигналу і напруги можна збільшити від 5,163 до 51,173. Співвідношення сигнал / шум можна додатково поліпшити за допомогою складного сигналу і його когерентної обробки.

## 2.6 Похибки ультразвукового далекоміра

В цілому, похибка вимірювання залежить від значної кількості різноманітних факторів вплив. Похибку можливо виразити наступною формулою:

$$S = S_{t0} + S_t + S_{tc} + S_{t\ddot{a}} + S_c + S_{ct} , \quad (2.31)$$

де: « $S_{t0}$  - похибка початкової установки частоти тактового генератора;

$S_t$  - похибка, викликана нестабільністю частоти тактового генератора від часу;

$S_{tc}$  - похибка, обумовлена дискретністю цифрового вимірювача часових інтервалів;

$S_{t0}$  - похибка через затримку спрацьовування детектора приймача ультразвукового сигналу;

$S_c$  - похибка розрахунку швидкості, викликана неврахованими змінами тиску, вологості та іншими параметрами (окрім температури) атмосфери;

$S_{ct}$  - похибка розрахунку швидкості, обумовлена неточним виміром температури повітря та іншими чинниками» [1]

Виходячи з даних в описі, УЗД користується звичайним сигналом для розпізнавання і обробки сигналу в похідній, що істотно зменшує загальний ТТХ пристрою (максимальна відстань вимірювання, дозвіл, точність і т.д.). Крім того, ці прилади характерні тим, що мають невелику перешкодостійкість. Тому будь-яка перешкода, що потрапляє в діапазон далекоміра, може викликати хибні спрацювання або ж навпаки, проминути ціль.

Слід зазначити, що, за допомогою кумулятивного алгоритму для досягнення заданої точності, тривалість одного вимірювання становить кілька секунд.

## 2.7 Залежність швидкості ультразвуку від атмосферного тиску і температури середовища

Щоб пояснити як залежить швидкості ультразвуку від температури і тиску (рис. 2.13) [13, 14], було вирішено ввести вимірювальний канал в адаптивне УЗД. Канал виконується за допомогою двох датчиків - температурного і датчиком тиску повітря, дані яких зчитуються на АЦП та стають цифровими, і корекція ультразвукової швидкості вводиться як зазначено.

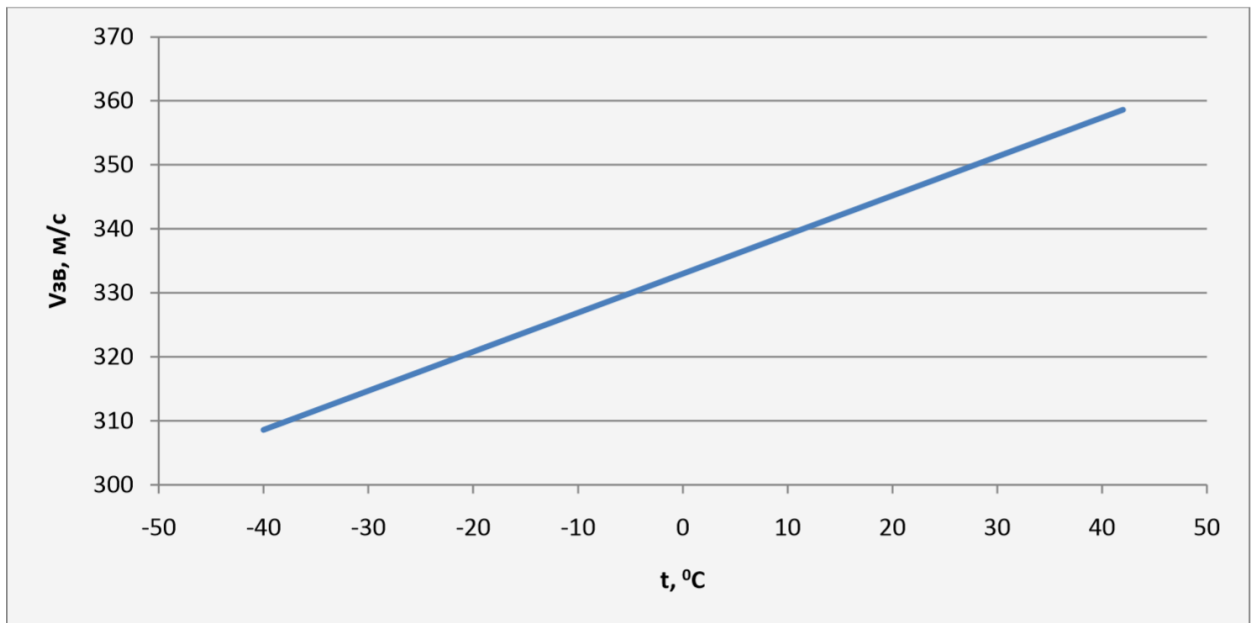
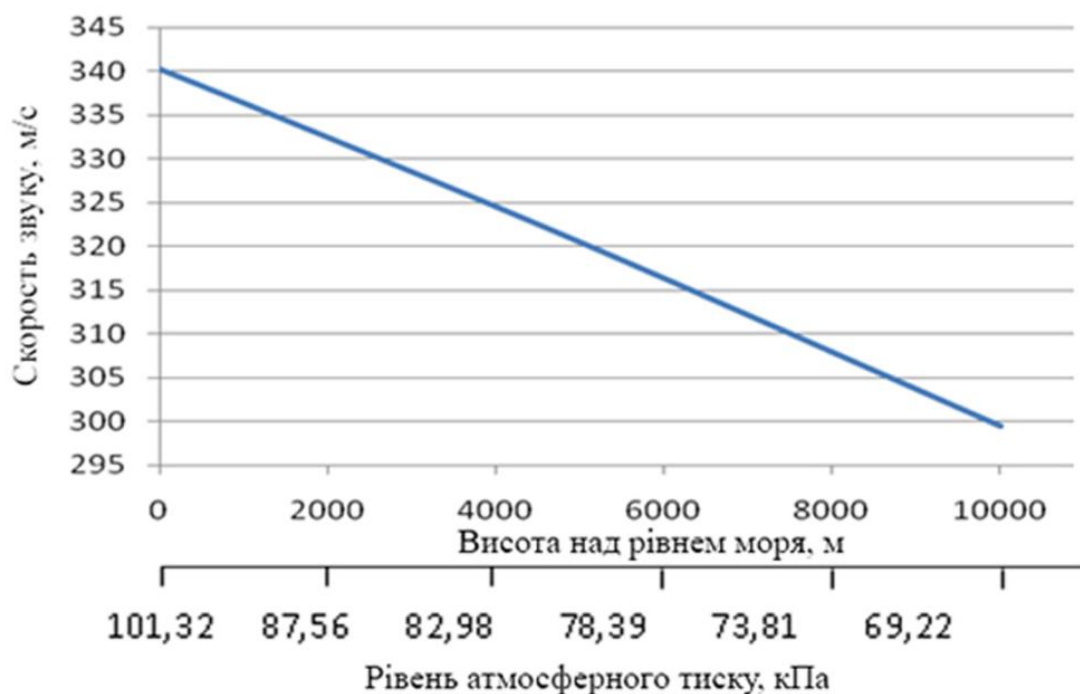


Рисунок 2.13 - Залежність швидкості ультразвуку від температури

По графіку ми бачимо, що залежність лінійна і описується наступною формулою (2.32) [14]:

$$V_{зв} = 333 + 0.61 \cdot t \quad (2.32)$$

Кореляція між ультразвуковою швидкістю і атмосферного тиску можемо бачити на рис. 2.14.



Рисуні 2.14 - Залежність швидкості ультразвуку від атмосферного тиску

Очевидно, що залежність ультразвукової швидкості від атмосферного тиску не настільки крута, як це було з температурою, але необхідно враховувати, що вона може досягати високої точності на рівні моря і високих ґрунтів.

Як бачимо, вимірювати температуру і тиск за цикл пристрою безглуздо - ці параметри не можуть миттєво змінюватися у великих кількостях. Можливо обрати інтервал вимірювання 10 секунд - цей інтервал дозволяє пропустити значні зміни температури і тиску.

## 2.8 Експериментальна установка для отримання характеристик УЗ перетворювачів

На рис. 2.15 представлено принципову схему експериментальної установки.

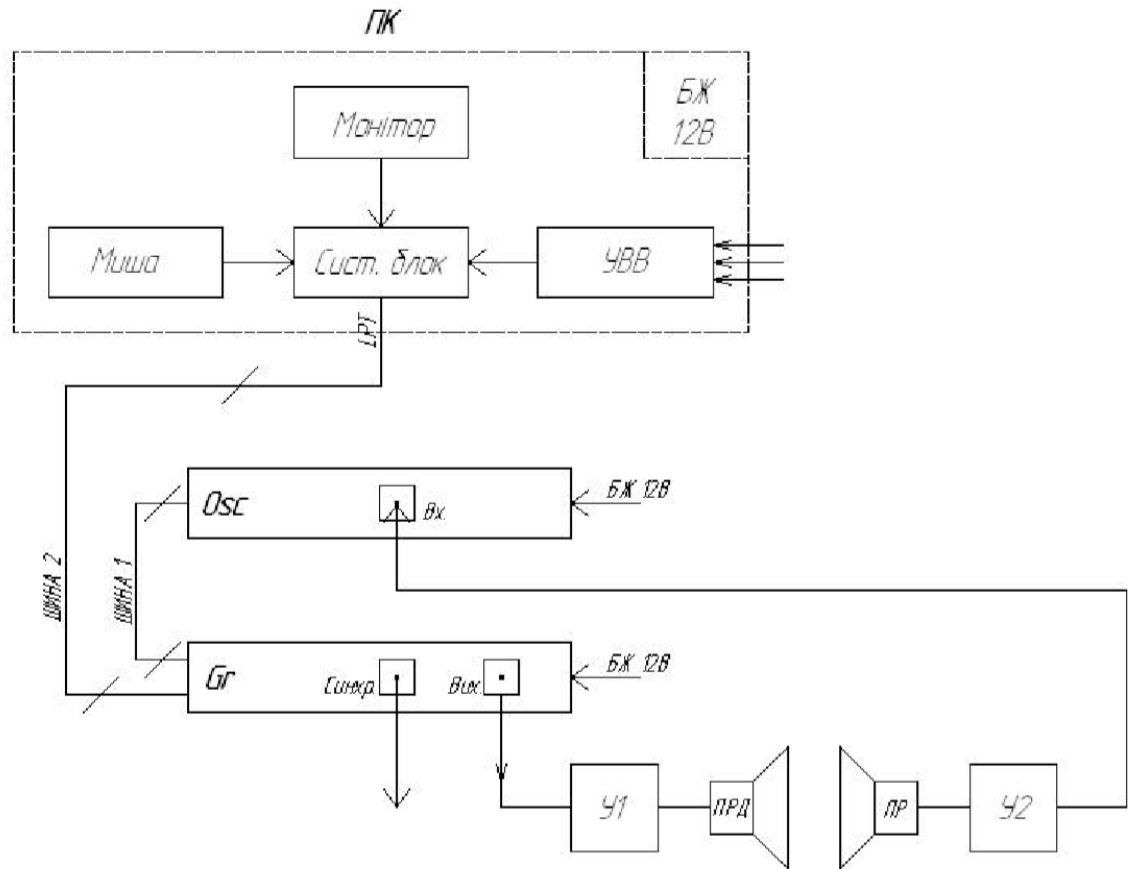


Рисунок 2.15 - Принципова схема експериментальної установки

- «ПК - персональний комп'ютер;
- УВВ - пристрій введення виведення інформації;
- БП - блок живлення 12 В;
- Osc - комп'ютерний осцилограф Velleman PCS100;
- Gr - комп'ютерний генератор сигналів Velleman PCG10/8016;
- У1 - підсилювач вихідного сигналу на базі ІМС TEA2025В (АЧХ підсилювача приведена на малюнку 20);

- У2 - підсилювач вхідного сигналу на базі ОУ 538УНЗ (АЧХ підсилювача наведена на малюнках 21 і 22);
- ПРД. - Передавач ультразвукового сигналу;
- ПР. - Приймач ультразвукового сигналу;
- ШИНА1 - шина, що з'єднує комп'ютерний генератор і осцилограф;
- ШИНА2-шина, що з'єднує генератор і осцилограф з комп'ютером за допомогою паралельного принтерного LPT порту» [1].

Сама експериментальна установка має наступний вигляд (рис. 2.16):

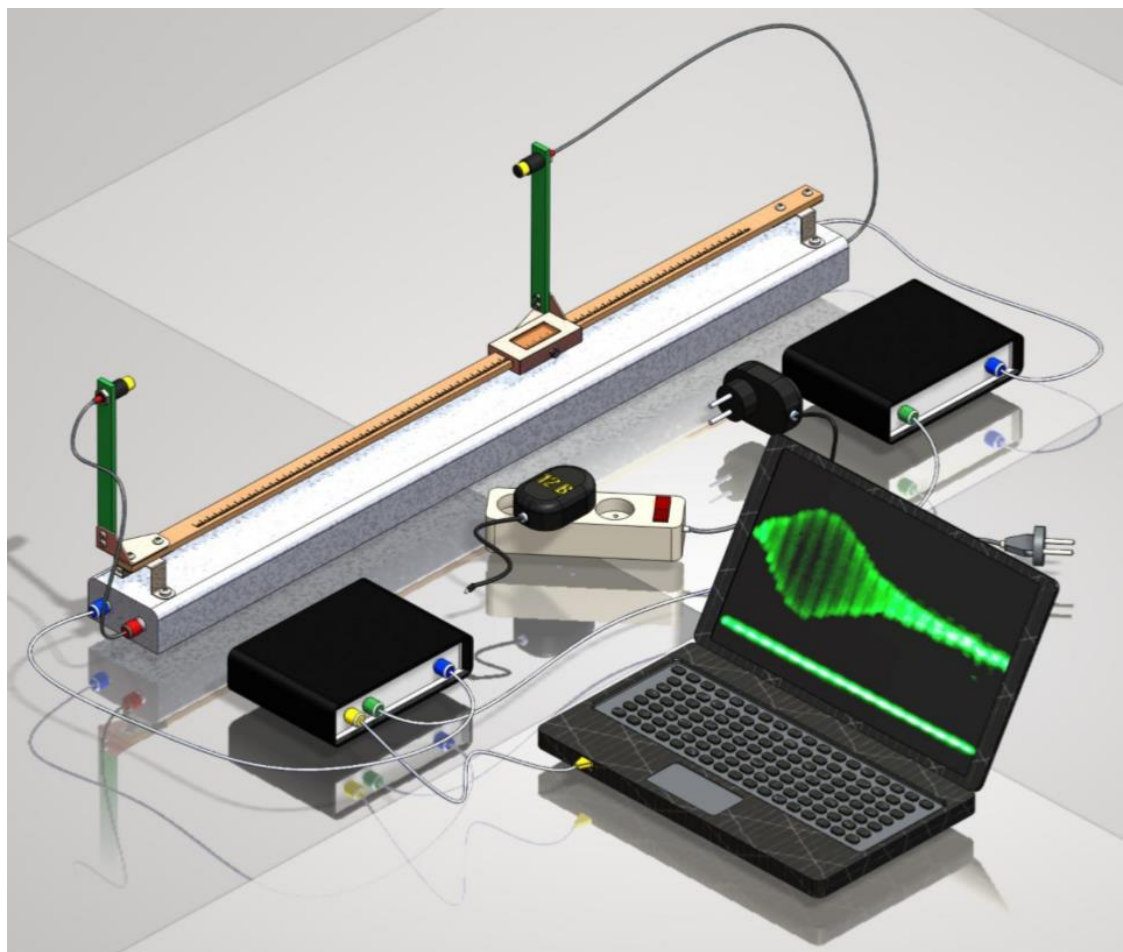


Рисунок 2.16 – 3D зображення експериментальної установки

На задньому плані розташована акустична лавка з встановленими ультразвуковими датчиками. На передньому плані - АС, з підсилювачем на базі ІМС ТЕА2025В, джерело живлення 12В, комп'ютерні осцилограф і генератор імпульсів.



За допомогою генератора PCG10/8016 сформувалася сукупність з 6 прямокутних імпульсів зі скважністю 2. Підсилювачем 1 на базі ІМС TEA2025В амплітуда сигналу встановлювалася на рівні 3В. Випромінювач і приймач ультразвукових сигналів розташовувалися на відстані  $s=200$  мм, і знаходилися на одній осі. Випромінююча і приймаюча площини датчика і випромінювача, відповідно, орієнтовані паралельно один одному [1].

## 2.9 Висновки до розділу 2

1. Розглянуто загальні ознаки і характеристики матеріалів, що використовуються у розробленому ультразвуковому далекомірі;
2. Запропоновано рекомендації до того, як і який матеріал слід обирати;
3. Розглянуто види п'єзоефекту;
4. Для новітнього п'єзоелектричного далекоміру за матеріал було обрано ніобат літію. Він має сильну стійкість до зовнішньої температури і тиску, високий коефіцієнт електромеханічного зв'язку і довговічні п'єзоелектричні властивості;
5. Проведено розрахунок основних електричних параметрів ПЕ;
6. Розглянуто похибки ультразвукового далекоміра;
7. Проведені енергетичні розрахунки ультразвукового далекоміра;
8. Представлено та описано експериментальну установку.

### РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

					ДП ПІ51 00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		59

### 3.1 Короткий опис складальної одиниці

Для аналізу складального блоку було обрано п'єзоелектричний датчик і корпус для з'єднання (рис. 3.1). На рисунку 3.2 показано модель п'єзоелектричного датчика і корпусу.

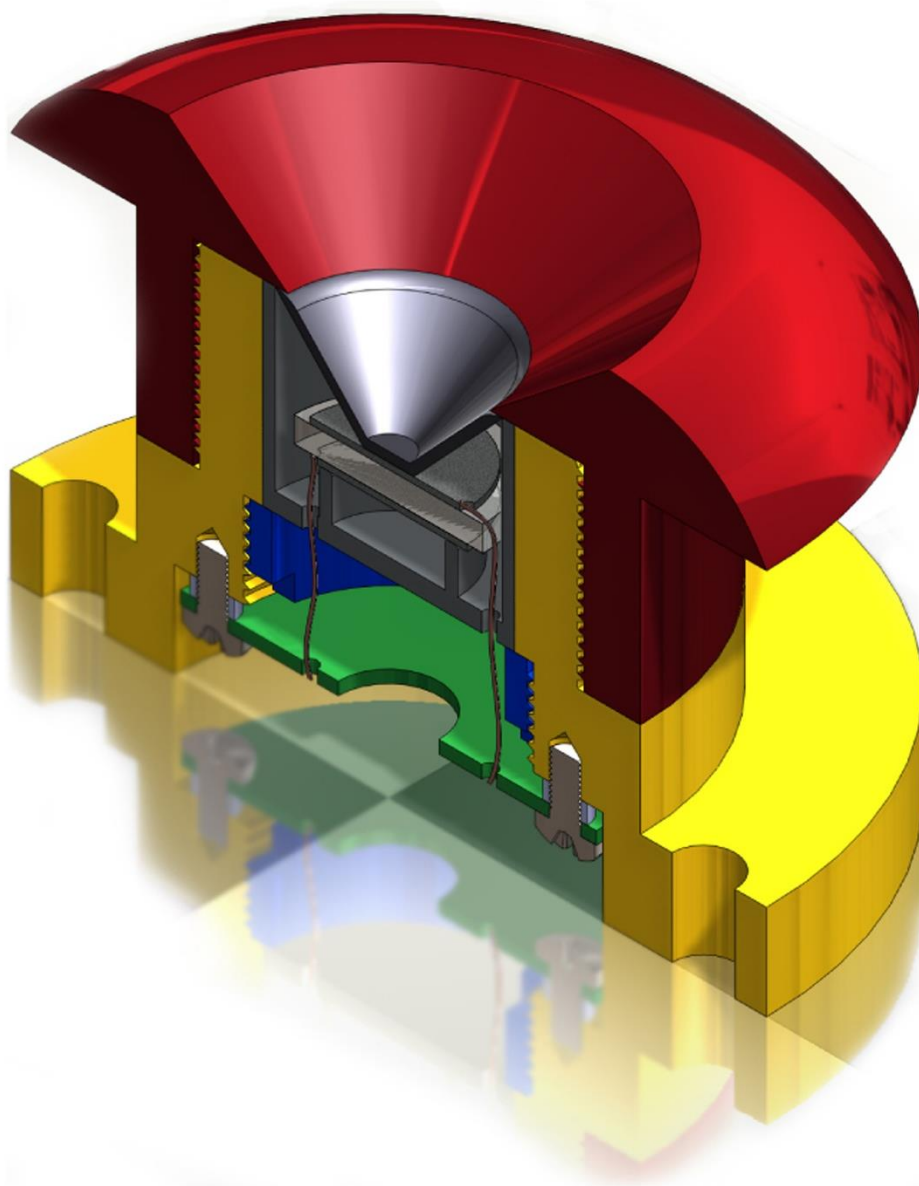


Рисунок 3.1 - 3D-модель п'єзоелектричного датчика та корпусу

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ДП ПІ51 00.000 ПЗ

Лист

60

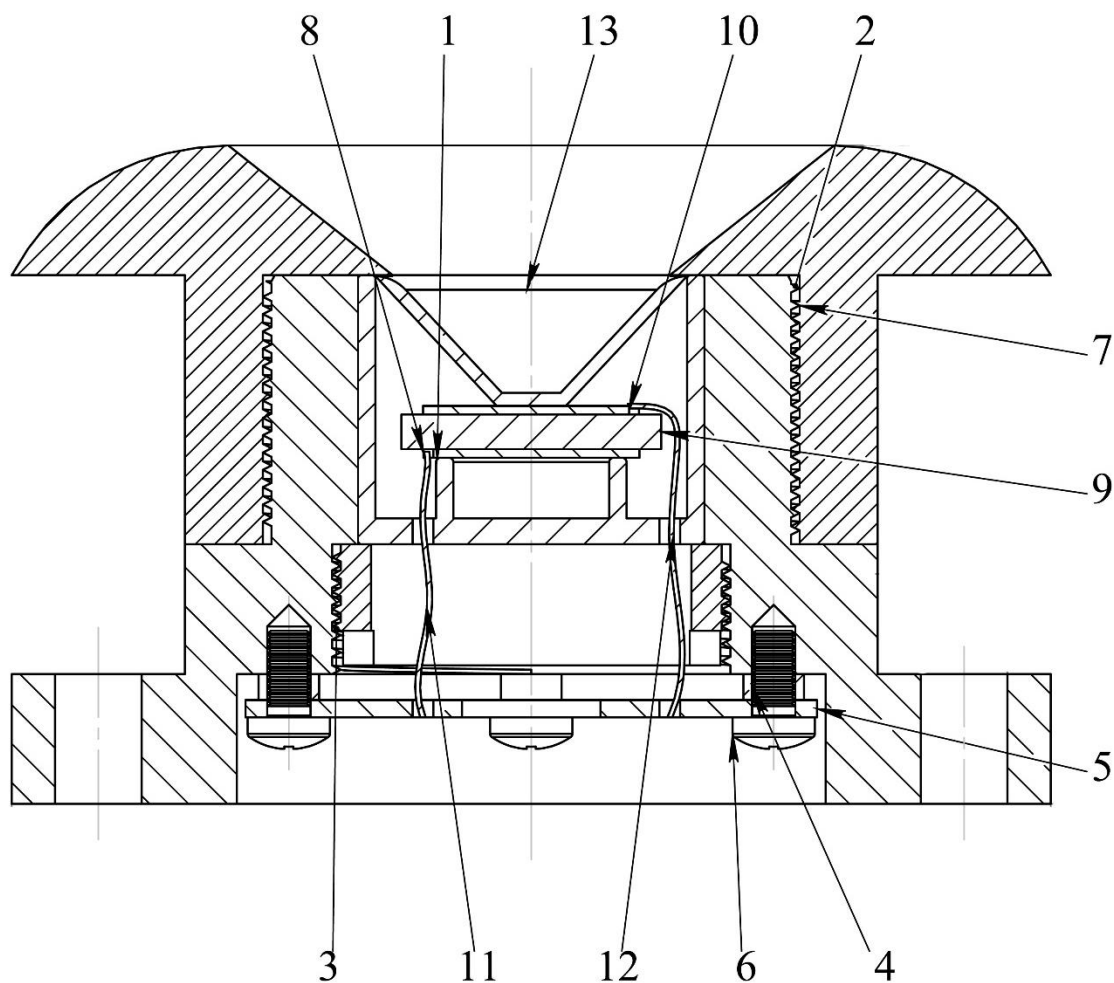


Рисунок 3.2 – Креслення п'єзоелектричного датчика та корпусу

Конструкція п'єзоелектричного датчика містить корпус датчика 1, п'єзоелектричні керамічні диски 8 і 10, скло 9, дифузор 13, контактні провідники 11 і 12. Корпус датчика 2 блокує датчик у бажаному положенні. Датчик штовхає гайку 3 на посадкове місце. Прокладка 4 відокремлює пластину 5 від корпусу. Плата закріплюється гвинтами 6 (М5 ГОСТ 5915-70). З іншого боку, датчик штовхається і фіксується кришкою 7, і кришка 7 все ще виконує функцію керування хвилями під кутом.

### 3.2. Відпрацювання складальної одиниці на технологічність

Технічна конструкція, як правило, є властивістю окремих компонентів, складальних одиниць і обладнання, де для даного стану, даний масштаб випуску і технічні вимоги до обладнання забезпечують найшвидший і економічний розвиток його виробництва, а також раціональне виробництво.

Конструкція технічна, якщо вона має мінімальну складність, максимальну єдність і стандартизацію монтажних елементів і компонентів, найширші можливості використання найпростіших і розумних операцій, а також можливість автоматизації обладнання.

Для всіх проектів розробки продукції виробництво на технологічність ставляться наступні завдання:

- зменшення складності виробництва;
- використання стандартних компонентів;
- застосування однорідних компонентів складових частин;
- використання однорідних деталей;
- можливість застосування типових технічних процесів.

Що стосується складальних одиниць, то для них завданням відпрацювання на технологічність можливо представити наступне: забезпечують технічну ефективність за допомогою основної і будівельної схеми складальної одиниці; забезпечують технічне компонування складальної одиниці; забезпечують правильну і обґрунтовану установку основи; забезпечують належний поділ деталей; забезпечують умови для застосування високопродуктивних технологічних потоків; забезпечити умови для регулювання, контролю та інспекції;

### 3.2.1. Визначення основних показників технологічності

Абсолютні техніко-економічні показники складності виробництва можуть бути виражені в стандартних годинах, витрачених на продукт (3.1):

$$T_u = \sum T_i, \quad (3.1)$$

де  $T_i$  - складність  $i$ -го компонента виробу, що виготовляється і випробовується в звичайний час.

Складальний блок «ЧЕ» складається з 3 частин. Їх виробництво займає 20 годин. Так  $T_u = 50$  годин.

Технічний рівень структури виробничої складності  $K_{у.т}$  визначається як реалізація трудомісткого виробництва продукції  $T_u$  і основним показником трудомісткого виробництва  $T_{б.и}$  (3.2)

( $T_{б.и} = 56$  нормо-годин):

$$K_{у.т} = \frac{T_u}{T_{б.и}} \quad (3.2)$$

$$K_{у.т} = \frac{50}{56} = 0,89$$

Попередні розрахунки  $K_{у.т}$  під час процесу проектування виробу, використовуючи експериментальні і статистичні дані продукту - репрезентативного і поправочного коефіцієнта, можна виконати попередній розрахунок складності виготовлення основних компонентів.

Технічна вартість продукту  $C_T$  визначається як сума витрат на одиницю продукції (3.3):

$$C_T = C_M + C_3 + C_{ц.р.} \quad (3.3)$$

Де  $C_M$  - вартість матеріалів на одиницю товару (грн.);

$C_3$  - заробітна плата виробничих працівників (грн.);

$C_{ц.р.}$  - витрат цеху (електроенергія, ремонт і амортизація обладнання тощо).

За підрахунками  $C_M = 300,15$  грн.;  $C_3 = 7393,49$  грн.;  $C_{ц.р.} = 190$  грн., тоді технологічні витрати складатимуть:

$$C_T = 300.15 + 7393.49 + 190 = 7883.64 \text{ грн.}$$

Рівень технічної доцільності проектування технічних витрат визначається як відношення вартості  $C_T$  до технічної вартості основного продукту  $C_{б.т}$

$$K_{Y.C} = \frac{C_T}{C_{б.т}} \quad (3.4)$$

$$K_{Y.C} = \frac{7883.64}{8800} = 0.9$$

### 3.3 Технологічна схема складання

Послідовність зборки, спосіб забезпечення з'єднання, частота і зміст процесів регулювання, випробувань і контролю визначають технічну схему складання.

Рішення для технології складання дозволяє змінити конструкцію обладнання, що спрощує процес. Це допомагає аналізувати конструкцію пристрою з технічної точки зору, дозволяючи змінити конструкцію пристрою для спрощення процесу.

Необхідно зняти збірку технологічної схеми, щоб повністю зрозуміти послідовність складання, забезпечити спосіб підключення, відрегулювати частоту і зміст процесу, перевірку і контроль. Це дається колектору-технологу, який призначає основні компоненти і починає процес складання. Збірка виконується в тому порядку, в якому поставляються вибрані деталі і складальні одиниці, і визначається потік процесу. Тому був сформований технічний процес.

На рисунку 3.3. охарактеризована технологічна схема складальної одиниці — «чутливий елемент далекоміра» .

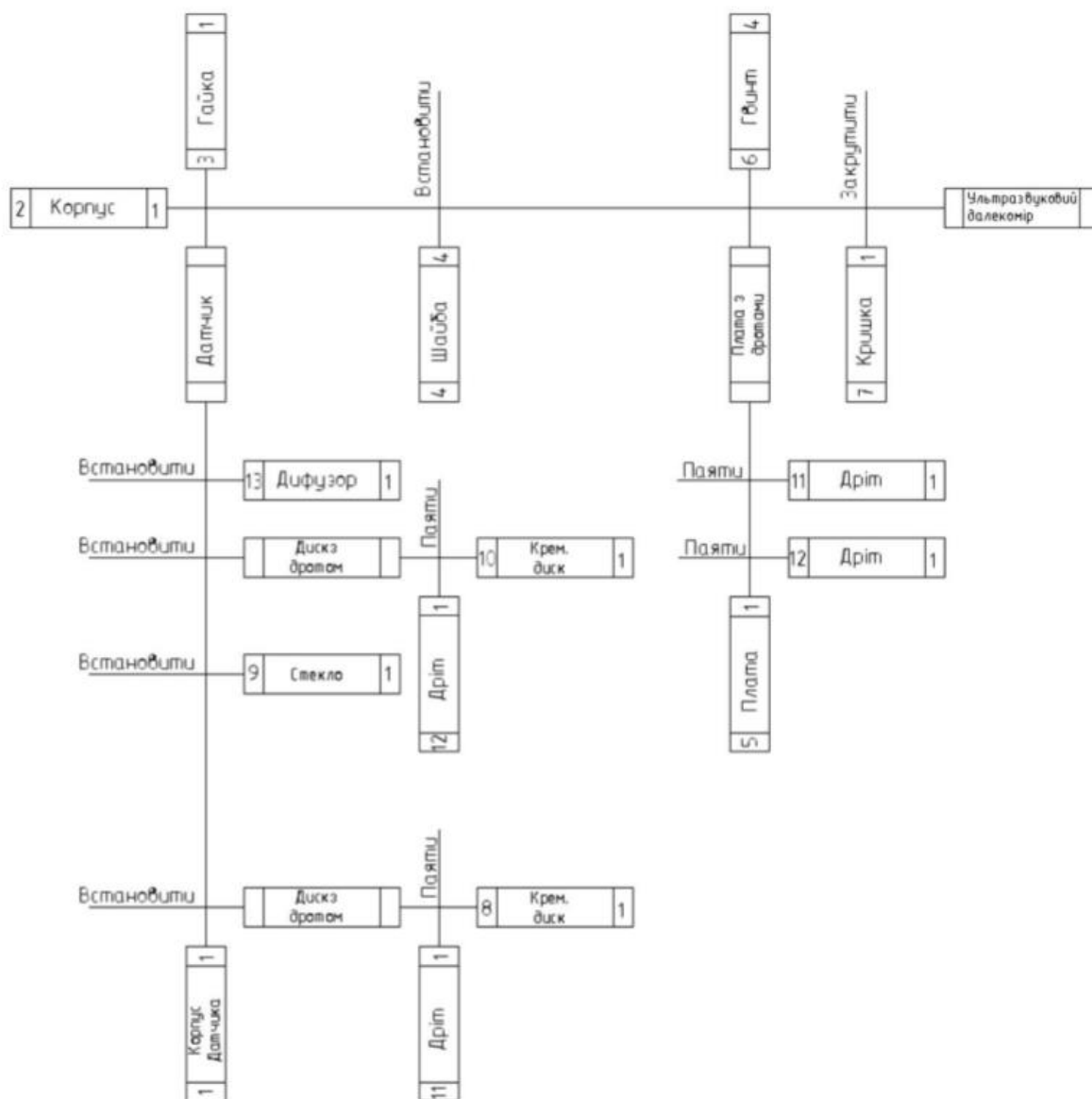


Рисунок 3.3 - Технологічна схема складальної одиниці

### 3.4 Схема складального складу

За аналізом проектної документації складені схеми складального складу (рис. 3.4). У ньому показана структурна схема пристрою, кількість зібраних вузлів, назва і кількість деталей, які використовуються як складові картки під час процесу складання.



Побудова такої схеми дає змогу визначити структуру та елементи складання пристрою, його з'єднань, а також легко отримати технологічний процес складання. Однак схема складального складу не дає поняття послідовності складання і способу захисту з'єднання. Схема складального складу застосовується для аналізу та синтезу приладових і складальних процесів. Під поєднанням приладу та процесу монтажу необхідно розуміти правила побудови пристрою з його компонентів та його функціонування та процес складання його деталей. Першим кроком у створенні техніки складання є спрощення конструкції збірки.

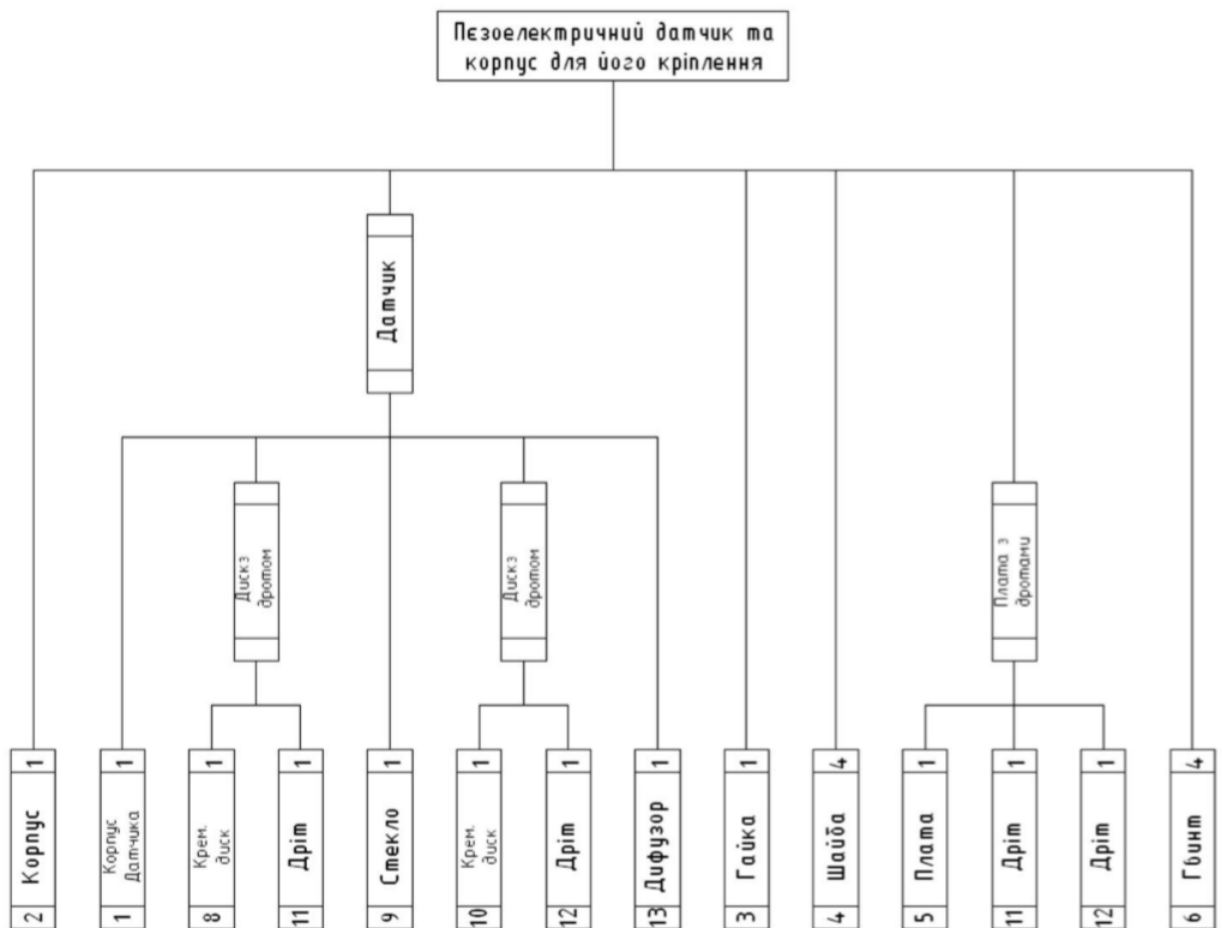


Рисунок 3.4 - Схема складального складу

### 3.5 Розрахунок складальної одиниці на точність

Нехай точні розміри  $L$  необхідно буде забезпечити (рис. 3.5). Через економічні та розумні допуски, встановлені на деталях, ця вимога повинна задовольнятися в умовах масового виробництва.

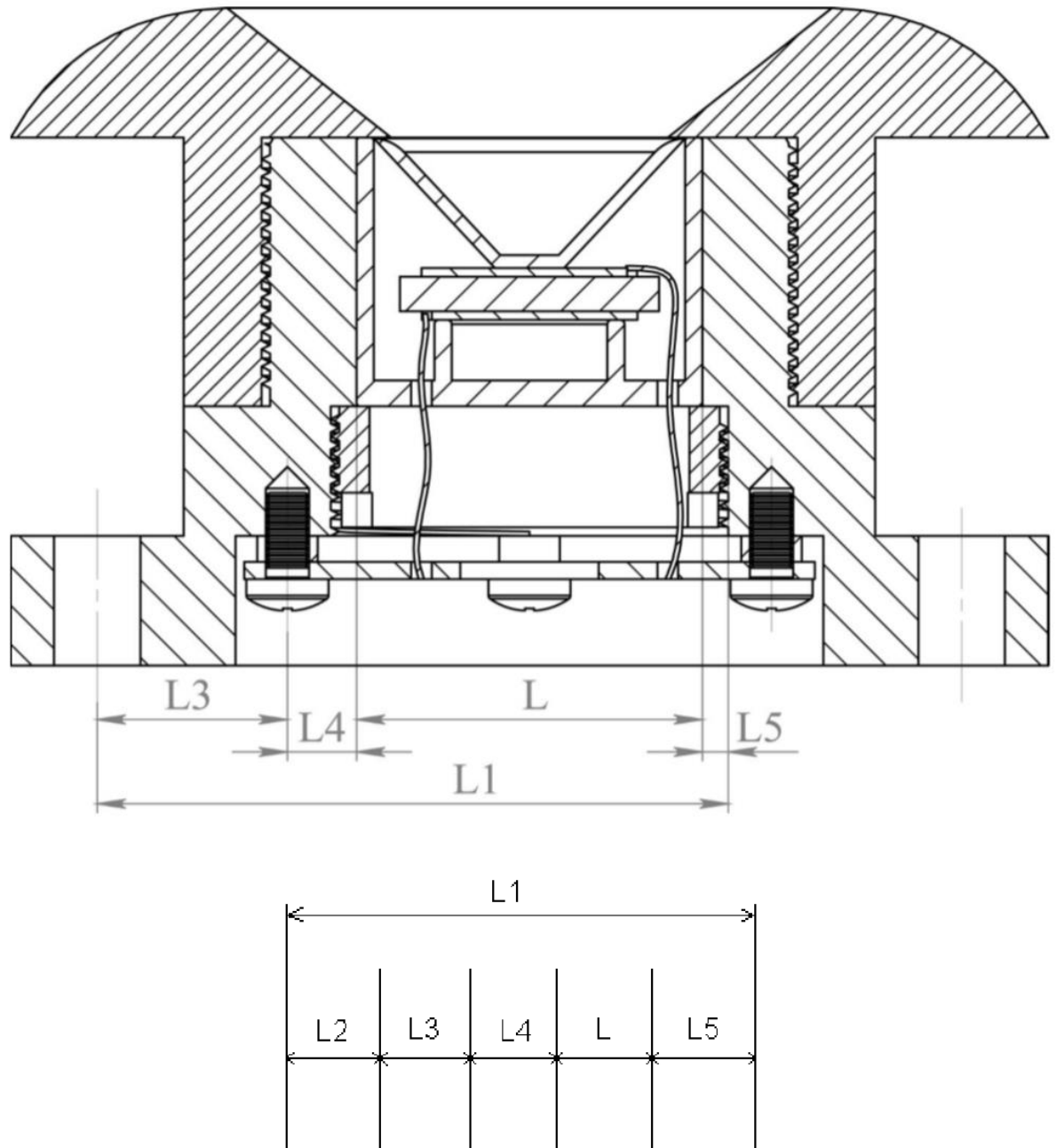


Рисунок 3.5 - П'єзоелектричний датчик та схема його розмірної ланки

В таблиці 3.1. наведено номінальне значення лінії зв'язку до розмірного ланцюга та його дозволеного відхилення.

Таблиця 3.5.

Номінальна вартість і допустиме відхилення розмірної ланки.

Ланка	Номінальний розмір, мм	Допуск, мм	Координати середини допуску	Тип ланки
L1	35	$\pm 0,3$	0	збільшуюча
L2	23	$\pm 0,15$	0	зменшуюча
L3	3	-0,1	-0,05	зменшуюча
L4	3	$\pm 0,1$	0	зменшуюча
L5	3	$\pm 0,2$	0	зменшуюча

### 3.6. Координатний метод

Знаходимо номінальне значення замкнутої ланки за допомогою арифметичної суми номінальних розмірів деталі. У той же час ланка, що збільшує, використовує символ «+», а ланка, що зменшує - символ «-»:

$$L_{\text{зам}} = 35 - (23 + 3 + 3 + 3) = 3 \text{ мм}$$

Завдяки формулі (3.5) ми можемо знайти допуск замикаючої ланки:

$$\delta_{\text{зам}} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i| \quad (3.5)$$

$$\delta_{\text{зам}} = 0.6 + 0.3 + 0.1 + 0.2 + 0.4 = 1.6$$

Проміжні координати замкнутої ланки визначаються рівнянням (3.6):

$$K_3 = \sum_{i=1}^m K_{i_{\text{ув}}} - \sum_{j=1}^m K_{j_{\text{уу}}} \quad (3.6)$$

$$K_3 = 0 + 0.05 = 0.05$$

Граничні відхилення можливо знайти за наступною формулою (3.7):

$$\begin{cases} (BO)_3 = K_3 + 0.5 \cdot \sum^{m-1} |\delta_i| \\ (HO)_3 = K_3 - 0.5 \cdot \sum^{m-1} |\delta_i| \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (BO)_3 = 0.05 + 0.5 \cdot 1.6 = 0.85 \\ (HO)_3 = 0.05 - 0.5 \cdot 1.6 = -0.75 \end{cases} \quad (3.7)$$

Таким чином, ми можемо записати номінальний замикаючої ланки та його граничне відхилення:  $L_{\text{зам}} = 3_{-0.75}^{+0.35}$

### 3.7 Екстремальний безномінальний метод

Знайдемо номінальний розмір замикаючої ланки за наступними формулами: (3.8):

$$\begin{aligned} (BO)_{\text{зам}} &= \sum_1^m (BO_i)_{\text{ув}} - \sum_1^q (HO_j)_{\text{ув}} \\ (HO)_{\text{зам}} &= \sum_1^m (HO_i)_{\text{ув}} - \sum_1^q (BO_j)_{\text{ув}} \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} (BO)_{\text{зам}} &= 0.3 - (-0.15 - 0.1 - 0.1 - 0.2) = 0.85; \\ (HO)_{\text{зам}} &= -0.3 - 0.15 - 0.1 - 0.2 = -0.75. \end{aligned}$$

Звідси ми бачимо, що розрахунок закриваючих ланок, так само, як і в координатних розрахунках, має той же результат:  $L_{\text{зам}} = 3_{-0.75}^{+0.35}$ . Отже, розрахунок зроблений вірно.

### 3.8 Висновки до розділу 3

При технологічній розробці конструкції п'єзоелектричного датчика були зроблені наступні кроки:

- зроблено короткий опис складальної одиниці (рис. 3.1, рис. 3.2);
- було знайдено технічний рівень структури виробничої складності  $K_{\text{у.т}} = 0.9$ ;
- було розроблено технологічну схему складальної одиниці (рис. 3.3);
- було розроблено схему складального складу (рис. 3.4);
- був зроблений розрахунок складальної одиниці на точність за допомогою координатного та екстримально безномінального методу. В результаті розрахунків було виявлено, що результати за двома методами збігаються,

тобто  $L_{\text{зам}} = 3_{-0.75}^{+0.35}$ . Можливо зробити висновки, що розрахунки були зроблені вірно.

					ДП ПІ51 00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проекті розглянуто та розроблено п'єзоелектричний далекомір, викладені існуючі методи ранжирування і вимірів відстані. Для дослідження було обранольтразвуковий датчик вимірювання відстані на основі п'єзоелектричного перетворювача.

У проектно-конструкторському розділі був проаналізований об'єкт дослідження та зроблені розрахунки основних елементів.

У результаті виконання дипломного проекту створено пристрій для вимірювання відстані; вдалося зменшити габаритні розміри приладу. Спроектовано нову лабораторну установку для перевірки характеристик далекомірів і визначення їх похибки.

У технологічному розділі було визначено показники технічної ефективності обладнання. Відповідно до уніфікованих та стандартизованих показників обладнання, продуктивність є низькою, оскільки в аналітичних інструментах практично не існує стандартного та рівномірного розвитку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ткачук А. Г. П'єзоелектричний гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи. Автореферат дисертації на здобуття ступеня кандидата технічних наук від 23.06.2014 р.
2. Пример применения МК ТI MSP430F413 для реализации ультразвукового дальногомера. Интернет ресурс: <http://focus.ti.com/mcu/docs/mcusupporttechdocsc.tsp?sectionId=96&tabId=1502&abstractName=slaa136a>
3. Ультразвуковое измерение дальности на MSP430 Интернет-ресурс: <http://focus.ti.com/general/docs/techdocsabstract.tsp?abstractName=slaa136a>
4. Трофимов А.М. Ультразвуковой дальномер. Приёмно-передающий блок: диплом бакалавра: защищен 24.06.08: 61 с.
5. Чеботарев С.Д. Ультразвуковой дальномер. Алгоритмы обработки сигналов.: диплом бакалавра: защищен 24.06.08: 78 с.
6. Техническая документация ультразвукового дальногомера на МК ТI MSP430F413 Интернет ресурс: <http://www.ti.com/litv/pdf/slaa136a>
7. Реализация ультразвукового дальногомера на базе PSOC ИМС CY8C26443-24PI Интернет ресурс: <http://www.circuitcellar.com/library/print/0103/piana150/2301013.pdf>
8. Техническая документация серии пьезоэлектрических датчиков E-188 компании VYDAS Интернет ресурс: <http://www.vydas.co.uk/PDF/MP/E188DataSheet.pdf>
9. Murata: пьезоэлектрические, магниторезистивные и пирозлектрические датчики. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2003 г.
10. Ультразвуковой дальномер Skil 0520 АА. Интернет-ресурс: [http://www.rmnt.ru/catalog/instrument\\_sizing/41624.htm](http://www.rmnt.ru/catalog/instrument_sizing/41624.htm)

11. Ультразвуковые датчики. Особенности применения и выбора. Ч.: Главаавтоматика, 2009 г.
12. Хмелев В.Н., Особенности согласования электронных ультразвуковых генераторов с пьезоэлектрическими колебательными системами. / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Генне Д.Д.
13. Трофимов А.М., Чеботарёв С.Д. Реализация ультразвукового дальномера на базе MSP430 F413/: НовГУ им. Ярослава Мудрого - Великий Новгород;2007г.- 12с. - Рус.- Деп. в 2007 г.
14. Трофимов А.М. Анализ импульсных сигналов для ультразвуковых дальномеров/Трофимов А.М., Чеботарёв С.Д.,: НовГУ им. Ярослава Мудрого - Великий Новгород;2007г.- 12с. - Рус.- Деп. в ВИНТИ №739-B2007 от 17.07.2007 г.
15. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов. – М.: Радио и связь, 1991 г.
16. Адаптивный ультразвуковой дальномер со сложным сигналом. Сборник докладов конференции ОАО «НИИП» г. Жуковский.
17. Агейкин, Д. И. Датчики контроля и регулирования [Текст] / Д. И. Агейкин, Е.И. Кузнецова. – М.: Машиностроение, 1965. – 928с.
18. Осадчий, Е. П. Проектирование датчиков для измерения механических величин [Текст] / Е. П. Осадчий. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с.
19. Безвесільна, О. М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів [Текст]: підручник / О. М. Безвесільна, Г. С. Тимчик. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – 812 с.
20. Безвесільна, О. М. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин [Текст]: Підручник / Безвесільна О. М., Тимчик Г. С., Подчашинський Ю.О. – Житомир: ЖДТУ, 2011.– 976 с.



21. Перетворюючі пристрої приладів. Технологічні вимірювання та прилади [Текст]: підручник / [ Безвесільна О. М., Ларін В. Ю., Чичикало Н.І. та ін.]. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 542 с.
22. Безвесільна, О. М. Способи кріплення п'єзоелектричних акселерометрів на об'єктах дослідження [Текст] / О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук// Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2011. – №4(59). – С. 54-59.
23. Безвесільна, О. М. Технічні засоби автоматизації [Текст]: Підручник / Безвесільна О. М., Коробійчук І.В. – Житомир: ЖДТУ, 2014.– 904 с.
24. Безвесільна, О. М. П'єзоелектричний гравіметр авіаційної гравіметричної системи [Текст]: монографія / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук. – Житомир: ЖДТУ, 2013. – 240 с.
25. Безвесільна, О. М. Науково-теоретичні дослідження нового п'єзоелектричного гравіметра автоматизованої авіаційної гравіметричної системи в екстремальних умовах з використанням нейронних мереж [Текст]: монографія / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук., Тимчик Г.С. – Житомир: ЖДТУ, 2014. – 225 с.
26. Аш, Ж. Датчики измерительных систем [Текст] / Ж Аш . Книга 2. – М.: Мир, 1992.– 424 с.
27. Датчики: Справочное пособие[Текст] / [Шарапов В. М., Полищук Е. С., Кошевой Н. Д. и др.]; под ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – Москва: Техносфера, 2012.– 624 с.
28. Кухарчук, В. В. Основи метрології та електричних вимірювань [Текст]: підручник / В. В. Кухарчук, Є. Т. Володарський, В. Ю. Кучерук, В. В. Грабко.– Вінниця: ВНТУ, 2012. – 522 с.
29. Фрайден, Дж. Современные датчики [Текст]: Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005.– 592 с.
30. Головка, Д. В. Метрологія та основи вимірювань [Текст] / Д. В. Головка, К. Г. Рого, Ю. О. Скрипник – К.: Либідь, 2001. – 407 с.

31. Земельман, М. А. Метрологические основы технических измерений [Текст] / М. А. Земельман. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 227 с.
32. Тиль, Р. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / Р. Тиль Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1987.– 192 с.
33. Туричин, А.М. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / А.М. Туричин , П.В. Новицкий – Л: Энергия, 1975 – 576.
34. Шарапов, В. М. Пьезоэлектрические датчики [Текст] / Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. – Москва: Техносфера, 2006. – 632с.
35. Пьезокерамические трансформаторы и датчики [Текст] / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, Ж. В. Сотула, К. В. Базило, Л. Г. Куницкая / Под ред. В. М. Шарапова. – Черкассы: Вертикаль, 2010.– 278с.
36. Шарапов, В. М. Технологии синтеза пьезокерамических датчиков [Текст] / В.М. Шарапов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2010. – №3. – С. 90–96.
37. Шарапов, В. М. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования [Текст] / В. М. Шарапов, Ж. В. Сотула // Електроніка НТБ. – 2012. – №5. – С. 96–102.
38. Трофимов, А. И. Пьезоэлектрические измерительные преобразователи [Текст] / А. И. Трофимов. – Томск: Издательство Томского Университета, 1983. – 272 с.
39. Янчич, В. В. Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи (акселерометры) [Текст]: монография / В. В. Янчич. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2010. – 304 с.
40. Митько, В. Н. Колебания пьезоэлектрических тел конечных размеров: Учебно-методическое пособие [Текст] / В. Н. Митько. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2009. – 28 с.

41. Земляков, В. Л. Измерительные технологии в пьезоэлектрическом приборостроении [Текст]: Учеб. пособие / В. Л. Земляков. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2010. – 114 с.
42. Смажевская, Е. Г. Пьезоэлектрическая керамика [Текст] / Е. Г. Смажевская, Н. Б. Фельдман – М.: Сов. радио, 1971. – 199 с.
43. Таблицы основных свойств пьезокерамических материалов ПКР, изготавливаемые Отделением сегнетопьезоэлектрических материалов, приборов и устройств НИИ физики ЮФУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.piezotech.ru/PKR.htm>. – Название с экрана.
44. Коваленко, І. О. Метрологія та вимірювальна техніка [Текст] : навч. посібник / І.О. Коваленко, А. М. Коваль. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 652 с.
45. Волович, Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств, 2-е издание [Текст] / Г. И. Волович. – М.: Додэка-XXI, 2007. – 33с.
46. Справочник по схемотехнике усилителей [Текст] / Ю.С. Ежков. – М.: ИП, РадиоСофт, 2002. – 272 с.
47. Безвесільна, О. М. Використання підсилювачів напруги у вимірювальних ланцюгах п'єзоелектричних перетворювачів [Текст] / Безвесільна О.М., Ткачук А. Г., Дяченко В. П. // XIX наук.-практ. конференція “Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення”: тези допов.– Житомир, 2012. – С. 131.
48. Безвесільна О.М., Бичук Р.В. Ультразвуковий сонар. V НПК студентів та аспірантів “Погляд у майбутнє Приладобудування” 2012, Київ, с.18.
49. Безвесільна О.М., Бичук Р.В. Особливості роботи ультразвукового сонара V НПК студентів та аспірантів “Погляд у майбутнє Приладобудування” 2012, Київ, с.17.
50. Безвесільна О.М., Бичук Р.В. Основні характеристики роботи ультразвукового сонара // Вісник інженерної академії України. – 2012. – №2. С.215-218.

51. Безвесільна, О. М. Принципова схема вимірювально – реєстраційного пристрою вихідного сигналу п’ездодатчика [Текст] / О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук, Р.В. Бичук // Вісник Інженерної академії України.– 2012. – №3-4. – С. 255–260.
52. Bezvesilnaya, E. N. Analytical overview of works on high precision angle measurement instruments [Text] / E.N. Bezvesilnaya, Ju. V. Kirichuk, R. V. Buchuk // The advanced science journal (USA). – 2014. – №7. – P. 53–59.
53. Рішення про видачу патенту №19717/3A/16 від 22.09.2016р. Заявка на винахід № а 2015 07024 від 14.07.2015 бюл.№23 від 30.07.2015. Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння / Безвесільна О.М., Ткачук А.Г. Войцицький М.А., Бичук Р.М.
54. Рішення про видачу патенту №19957/3A/16 від 26.09.2016р. Заявка на винахід № а 2015 09858 від 12.09.2015 бюл.№23 від 30.07.2015. Трикоординатний п’езоелектричний гравіметр авіаційної гравіметричної системи / Безвесільна О.М., Ткачук А.Г., Хильченко Т.В, Бичук Р.М.
55. Безвесільна О.М., Киричук Ю.В. , Бичук Р.В. Принцип ультрозвукового измерения дальности. 4 МНТК “Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2011)” Київ. 2011. С.127-128.
56. Безвесільна О.М., Бичук Р.В. Лінійний нейромережевий динамічний діагностичний комплекс з послідовним відновленням і фільтрацією вхідного сигналу п’ездодатчика. VI МНТК “Інформаційно-комп’ютерні технології 2012”,4-6 жовтня, Житомир, 2012, с.25-26.
57. Безвесільна О.М., Бичук Р.В. Ультразвуковий вимірювач відстані. IV НПК студентів та аспірантів “Погляд у майбутнє Приладобудування” 2011, Київ, с.151.
58. Безвесільна О.М., Киричук Ю.В. , Бичук Р.В. Принцип ультрозвукового измерения дальности. 4 МНТК “Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2011)” Київ. 2011. С.127-128.
59. Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Бичук Р.В. Прецизійний пристрій для попередньої виставки осей навігаційних елементів. X Науково – практична

конференція аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» (ХНПК) 11.03.2014, с.8.

60. Безвесільна О.М., Ткачук А.Г., Бичук Р.В. Принцип работы пьезоэлектрического датчика измерения расстояний. IX НПК студентів та аспірантів "Погляд у майбутнє Приладобудування", Київ, 17-18.05.2016, с. 73.
61. Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Бичук Р.В. Определение координат объекта с использованием ультразвуковой измерительной системы. Всеукраїнська НПК online присвячена Дню науки, Житомир, 2013 с.100.
62. Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Бичук Р.В. Оцінка точності визначення координат об'єкта з використанням ультразвукової вимірювальної системи. Всеукраїнська НПК online присвячена Дню науки, Житомир, 2013 с.101.
63. Безвесільна О.М., Бичук Р.В. Системи розпізнавання акустичних образів. Міжвузівська НПК присвячена Дню науки, Житомир, 2012, с.34-35.
64. GlobalMarket Далекоміри Інтернет-ресурс: <http://www.globalmarket.com>.
65. Безвесільна О. М., Таланчук П. М. Перетворювальні пристрої приладів